

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Институт космических и информационных технологий  
Кафедра систем автоматики, автоматизированного  
управления и проектирования

УТВЕРЖДАЮ  
Заведующий кафедрой  
\_\_\_\_\_ С.В. Ченцов  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2019 г.

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

15.03.04 Автоматизация технологических процессов и производств

**АВТОМАТИЗАЦИЯ НАСОСНОЙ СТАНЦИИ**

Руководитель _____	_____._____.2019г.	ст. преподаватель И.В. Солопко
Выпускник _____	_____._____.2019г.	С.И. Савченко
Консультант _____	_____._____.2019г.	профессор, д-р техн. наук С.В. Ченцов
Нормоконтролер _____	_____._____.2019г.	Т.А. Грудинова

Красноярск 2019

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа на тему «Автоматизация насосной станции» содержит 72 страниц текстового документа, 3 приложения, 41 иллюстрацию, 30 использованных источников.

АВТОМАТИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ ВОДОСНАБЖЕНИЯ, МОДЕЛИРОВАНИЕ, АНАЛИЗ, SIMINTECH, НАСОСНАЯ СТАНЦИЯ, УПРАВЛЕНИЕ СИСТЕМОЙ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ.

Целью выпускной квалификационной работы является создание компьютерной динамической модели процесса управления подкачивающей насосной станцией в рамках существующей системы автоматизации для улучшения эксплуатации насосов за счет моделирования рабочих режимов и аварийных ситуаций.

Применение автоматизации процесса управления подкачивающей насосной станцией является актуальным в связи с тем, что автоматизация позволяет соблюдать и регулировать технологические характеристики системы теплоснабжения, обеспечивая безопасность работы, поэтому для предотвращения ошибок оператора предусматривается создание компьютерной модели, позволяющей моделировать процесс управления.

Результатом бакалаврской работы является, построение структурной схемы автоматизации системы управления подкачивающей насосной станцией, описание алгоритма работы автоматизированного управления подкачивающей насосной станцией, на основании которого создана компьютерная динамическая модель в программе SimInTech, позволяющая определить влияние различных значений температуры и давления на работу системы.

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение .....	4
1 Общая характеристика насосных станций.....	5
1.1 Обзор насосных станций .....	5
1.2 Функциональная структура теплоснабжения г. Сосновоборска .....	15
1.3 Принцип работы Сосновоборской подкачивающей насосной станции. ....	17
1.4 Описание оборудования применяемого на подкачивающей насосной станции водоснабжения.....	19
1.5 Целесообразность модернизации подкачивающей насосной станции ..	21
Выводы по главе 1 .....	23
2 Автоматизация подкачивающей насосной станции .....	24
2.1 Состав и содержание работ по созданию АСУ ТП .....	24
2.2 Описание выбранных средств автоматизации .....	26
2.3 Система управления подкачивающей насосной станции в автоматическом и ручном режимах .....	37
2.4 Параметры контроля и регулирования .....	41
Выводы по главе 2 .....	42
3 Моделирование процесса управления подкачивающей насосной станции .	43
3.1 Теплогидравлический расчет .....	43
3.2 Моделирование системы управления насосной станции в автоматическом режиме .....	47
3.3 Компьютерная модель с применением программы SimInTech .....	49
3.3.1 Моделирование работы системы .....	50
3.3.2 Моделирование ситуации изменения давления воды в подающем трубопроводе .....	59
3.3.3 Моделирование аварийной ситуации .....	62
Выводы по главе 3 .....	64
Заключение .....	65
Список использованных источников .....	66
Приложение А .....	69
Приложение Б.....	70
Приложение В .....	71

## ВВЕДЕНИЕ

Автоматизация производства – это процесс в развитии машинного производства, при котором функции управления и контроля, ранее выполнявшиеся человеком, передаются приборам и автоматическим устройствам. Автоматизация является актуальной в различных отраслях производства и народного хозяйства, в том числе и системах тепло и водоснабжения [1].

Насосная станция - сооружение, включающее в себя одну или несколько насосных установок, а также вспомогательные системы и оборудование. Насосные станции широко применяются в центральной системе отопления жилых домов и зданий. В данной работе рассматривается подкачивающая насосная станция, входящая в состав МУП "Жилищно-коммунальный сервис", которая занимается обслуживанием объектов инженерной инфраструктуры города Сосновоборска, расположенного на территории Красноярского края. Индивидуальный предприниматель Одинцов В.С. в 2018 году проводил модернизацию данной подкачивающей насосной станции с целью улучшения эксплуатации оборудования на основе применения современных средств автоматизации.

Применение автоматизации процесса управления подкачивающей насосной станцией является актуальным в связи с тем, что автоматизация позволяет соблюдать и регулировать технологические характеристики системы теплоснабжения, обеспечивая безопасность работы, поэтому для предотвращения ошибок оператора предусматривается создание компьютерной модели, позволяющей моделировать процесс управления.

Целью выпускной квалификационной работы является создание компьютерной динамической модели процесса управления подкачивающей насосной станцией в рамках существующей системы автоматизации для улучшения эксплуатации насосов за счет моделирования рабочих режимов и аварийных ситуаций.

## **1 Общая характеристика насосных станций**

### **1.1 Обзор насосных станций**

Насосные станции классифицируются по нескольким параметрам в соответствии с выполняемыми функциями и характером установки. Общее назначение всех насосных станций – это увеличение давления жидкости, подающейся к системам потребления.

В зависимости от объемов и целей эксплуатации насосных станций, их разделяют на промышленные и бытовые.

Важнейшая особенность промышленных насосных станций заключается в возможности перекачивания жидкости в большом объеме, в связи с чем происходит серьезная нагрузка на систему. Такая нагрузка обеспечивает бесперебойную работу насосных станций, которая также достигается благодаря дублирующему оборудованию, а также применению циркуляционных и вакуумных насосов. Промышленные насосы отличаются большой мощностью, повышенной производительностью и прочностью. Они применяются для водоснабжения и теплоснабжения различных зданий, крупных объектов сельского хозяйства, в установках пожаротушения и на других подобных объектах.

Бытовые насосные станции применяют в коттеджах и загородных домах, могут использоваться для полива огородов, теплиц и садов, водоснабжения фермерских хозяйств. Обеспечение водоснабжением происходит благодаря подаче воды из колодца или скважины.

По расположению насосного оборудования относительно поверхности земли насосные станции подразделяются на наземные (с полом на уровне или выше поверхности земли), заглубленные (с надземным строением и полом ниже поверхности земли) и на подземные (с перекрытием на уровне или ниже поверхности земли).

По характеру управления насосные станции бывают:

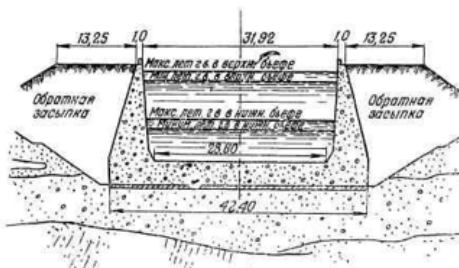
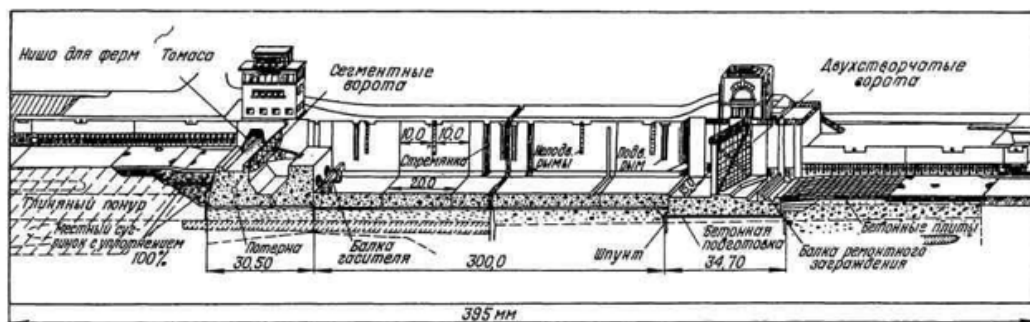
с ручным управлением — все или часть операций по управлению агрегатами производятся обслуживающим персоналом;

автоматические — все операции по включению и выключению агрегатов производятся автоматически в зависимости от уровня воды в емкостях, давления или расхода воды в трубопроводах;

полуавтоматические — насосный агрегат включается или выключается от единичной команды, заданной эксплуатационным персоналом, а вся дальнейшая работа выполняется автоматически;

с дистанционным управлением — управление насосной станцией производится из диспетчерского пункта, значительно удаленного от станции.

В странах с развитой системой каналов часто встречаются насосные станции на каналах. Из-за работы системы шлюзов на канале уровень воды падает на верхней части канала при каждом прохождении судов через шлюзы (Рисунок 1.1). Кроме того, многие шлюзы не герметичны, и вода просачивается из верхней части канала в нижнюю.



а – разрез по оси шлюза, б – поперечный разрез

Рисунок 1.1 – Схематический чертеж шлюза

Перевод судов между двумя отрезками водного пути с различным уровнем воды в них осуществляется с помощью шлюзов. Каждый шлюз имеет три основных элемента:

Герметичная камера, соединяющая верхнюю и нижнюю головные части канала и имеющая габариты, достаточные для размещения в ней одного или нескольких судов. Положение и габариты камеры фиксированные, однако уровень воды в ней может изменяться.

Ворота — металлические щиты, расположенные на обоих концах камеры и служащие для впуска и выпуска судна и герметизирующие камеру во время шлюзования.

Водопроводное устройство — устройство, предназначенное для наполнения, либо опустошения камеры. Как правило, в качестве такого устройства используется плоский щитовой затвор. В крупных шлюзах могут использоваться перекачные насосы (Рисунок 1.2).

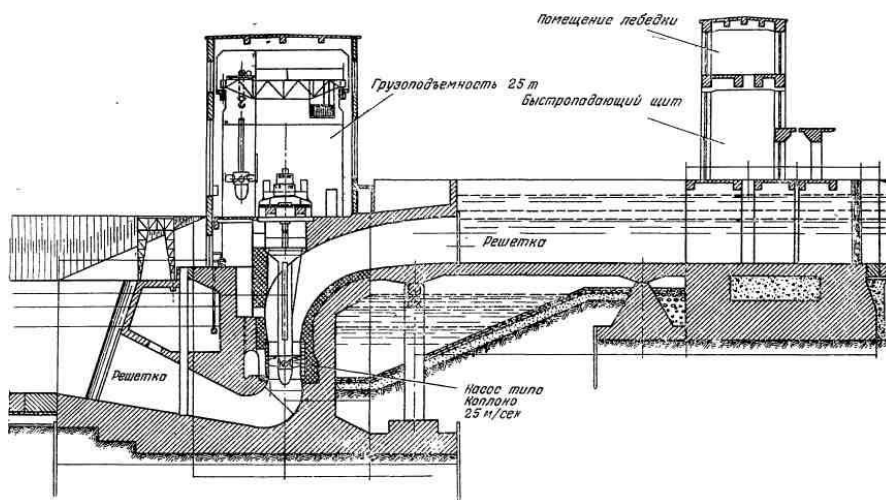


Рисунок 1.2 – Схема-разрез насосной станции на канале

Очевидно, что уровень воды в верхней части канала требуется поднять (компенсировать), иначе, в конечном итоге, уровня воды перед шлюзом не хватит для судоходства. Обычно каналам требуются дополнительные объёмы воды, которые поступают путём направления воды из рек и ручьёв в

верхнюю часть канала. Однако при отсутствии таких источников для поддержания уровня используется насосная станция.

Насосные станции используются в нефтегазодобывающей промышленности при разработке месторождений нефти и называются дожимные насосные станции (ДНС). ДНС осуществляют транспорт поступающей от скважин водогазонефтяной эмульсии на пункты сбора и переработки нефти или до пунктов сбора и хранения подготовленной нефти (Рисунок 1.3). Для перекачки по нефтепроводу водогазонефтяной эмульсии используются мультифазные насосы. На дожимных насосных станциях часто имеется оборудование для предварительной подготовки продукции скважин — сепараторы для обезвоживания (сброса) пластовой воды и отделения попутного нефтяного газа. На месторождениях, разрабатываемых с использованием технологии поддержания пластового давления (ППД), в состав дожимных насосных станций также может входить оборудование и коммуникации для закачки воды в нагнетательные скважины.

На магистральных нефтепроводах дожимные насосные станции служат для транспорта товарной нефти на значительные расстояния, инфраструктура станций может содержать резервуарные парки для сбора или временного хранения нефти на период плановой или аварийной остановки перекачки на участке нефтепровода между насосными станциями.

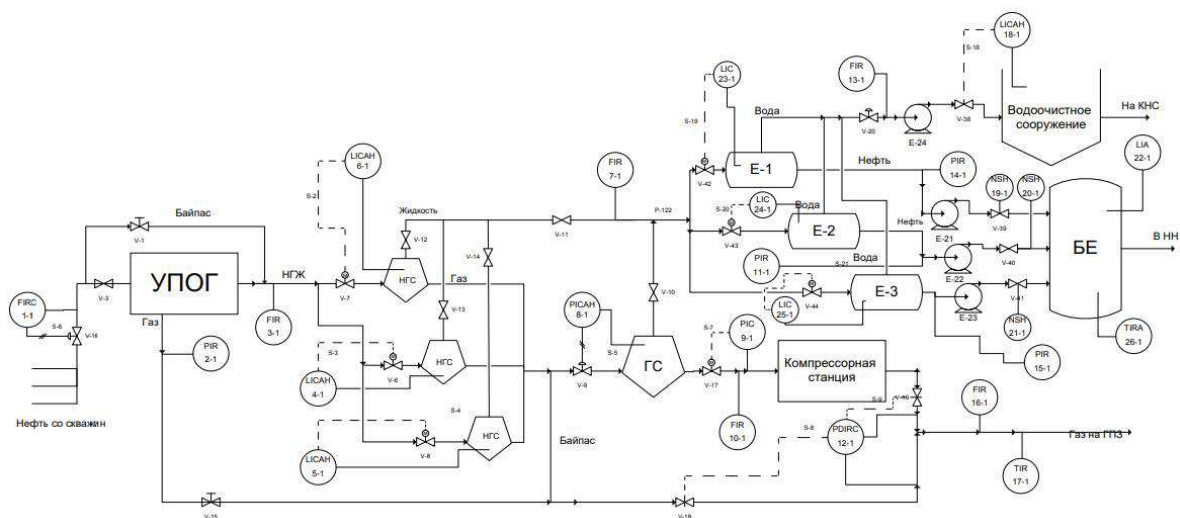


Рисунок 1.3 – Технологическая схема ДНС



Дожимная насосная станция ДНС предназначена для приема газожидкостной смеси с кустов добывающих скважин, отделения и утилизации попутного газа и дальнейшего транспорта дегазированной сырой нефти. Нефтегазосодержащая жидкость со скважин, по системе нефтесборных коллекторов, поступает на установку предварительного отбора газа (УПОГ), где происходит отбор до 25-30 % свободного газа. С УПОГ, а также по байпасному трубопроводу, жидкость поступает в три нефтегазосепаратора.

Насосные установки в системах пожаротушения — это совокупность инженерных коммуникаций, которые способны обеспечить безопасность для людей, находящихся в здании в момент возможного возгорания. Основная цель таких конструкций — предотвращение распространения огня, эффективное пожаротушение и своевременное удаление дыма и углекислого газа из помещения (Рисунок 1.4).

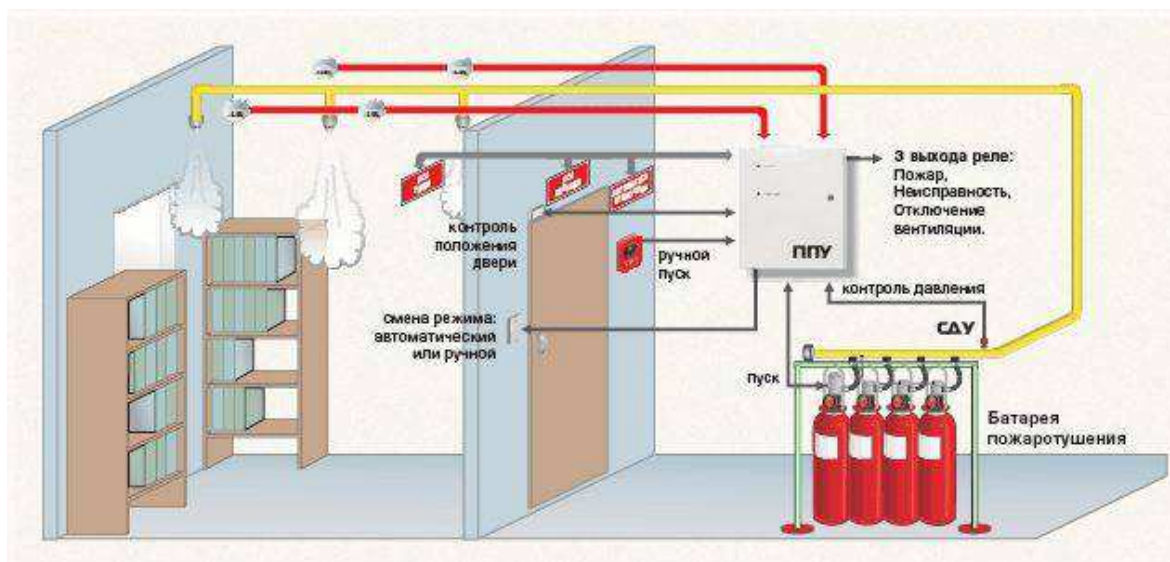


Рисунок 1.4 – Автоматические установки пожаротушения

В перечень стандартного набора оснащения подобных станций входят насосы, нагнетательные и всасывающие коллекторы, арматура, шкаф управления, элементы автоматики, контролирующие устройства.

Насосы для станции изготавливают центробежные, и в обычной комплектации присутствуют резервный и основной насосы. Резервный запускается при неисправности основного агрегата либо при недостаточной его работе. Запорная арматура предназначена для управления давлением и впуска воды.

Автоматика позволяет быстро реагировать на возникший пожар, соответственно экономя время. Для этого станции подключаются к сети высокого напряжения. Насосы снабжаются манометрами, измеряющими давление воды в системе трубопроводов.

Если в противопожарной системе нет достаточного объема воды, на этот фактор реагируют специальные датчики. Сигнал от них передается на насосную станцию, которая начинает работать. Запущенный основной насос или несколько доводят давление до нужного значения. Сигнал поступает на пульт управления и включается автоматика. Иногда требуется использование резервного оборудования.

Установка пожаротушения может работать в двух системах: спринклерной (Рисунок 1.5) и дренчерной (Рисунок 1.6). Необходимый режим работы задается в контроллере шкафа управления станции. Шкаф управления предусматривает два режима управления: Ручной и Автоматический. Ручной режим управления насосами осуществляется кнопками на лицевой панели шкафа управления.

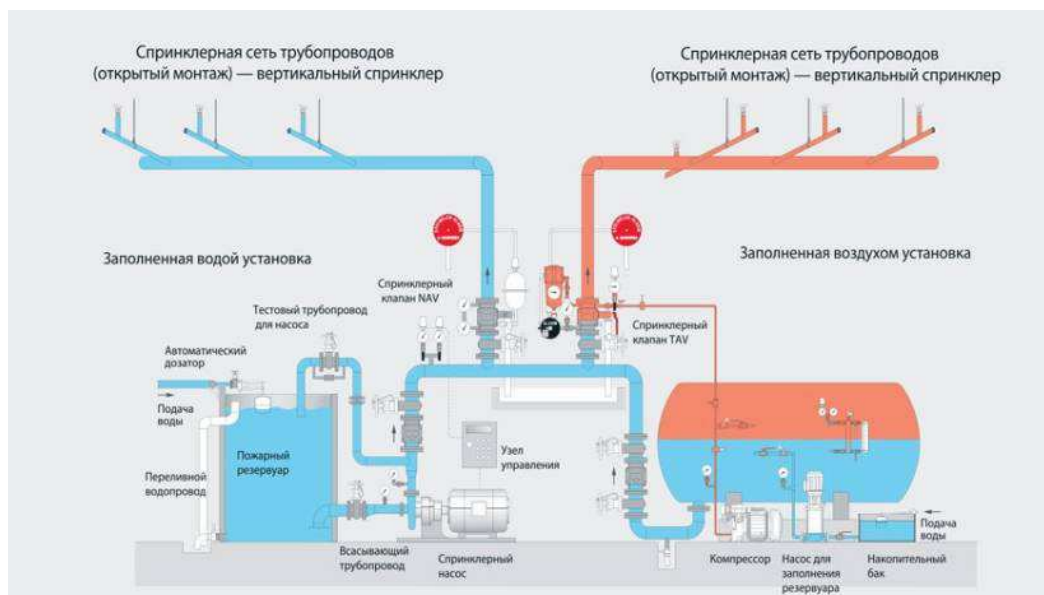


Рисунок 1.5 – Схема системы водяного пожаротушения спринклерного типа

Автоматический режим в спринклерной системе организован следующим образом: пуск/останов рабочего насоса происходит по сигналу от реле давления. Когда колба спринклера лопается при нагреве выше установленной температуры, происходит резкое падение давления в системе и загорается индикация «Пожар», насос начинает работать до тех пор, пока не будет нажата клавиша СТОП кнопки «Пожар» на лицевой панели шкафа управления.

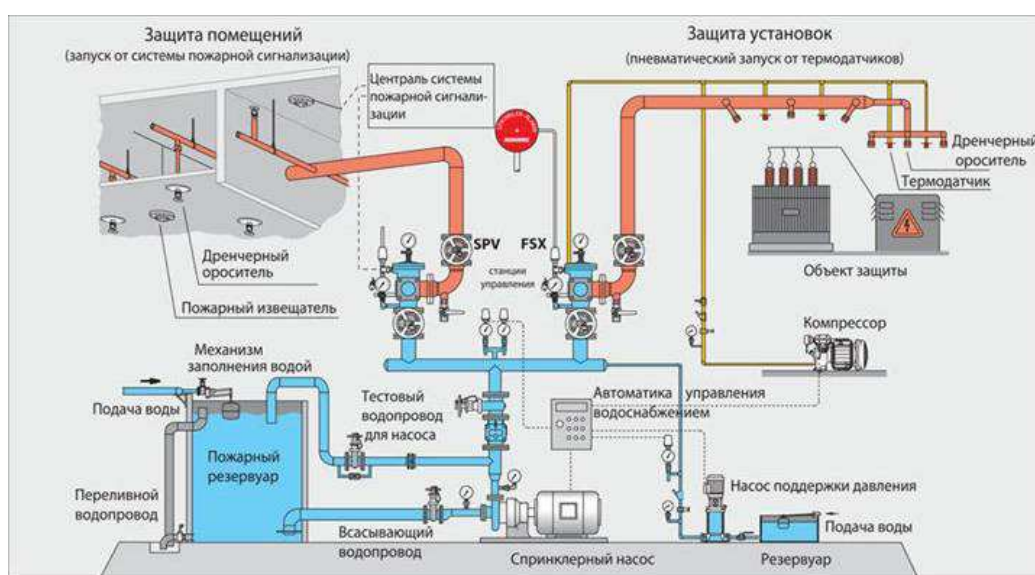


Рисунок 1.6 – Схема системы водяного пожаротушения дренчерного типа

Автоматический режим в дренчерной системе организован следующим образом: пуск/останов рабочего насоса происходит по внешнему сигналу «Пожар» или при нажатии кнопки на лицевой панели шкафа управления. В течение 15 секунд станция «ждёт» сигнала об открытии задвижки и запускает рабочий насос. Далее станция работает как система повышения давления. Если задвижка не открыта, и давление возрастает, то рабочий насос выключится по сигналу от реле давления. Установка работает до нажатия СТОП кнопки «Пожар». Присутствующий в станции пожаротушения резервный насос запускается автоматически при неисправности рабочего насоса.

Насосные станции систем водоснабжения и канализации представляют собой комплекс сооружений и оборудования, обеспечивающий водоподачу или водоотведение в соответствии с нуждами потребителя (Рисунок 1.7).

Состав сооружений, их конструктивные особенности, тип и число основного и вспомогательного оборудования определяются исходя из принципов комплексного использования водных ресурсов и охраны природы с учетом назначения насосной станции и предъявляемых к ней технологических требований.

По своему назначению и расположению в общей схеме водоснабжения насосные станции подразделяются на станции I подъема, II подъема, подкачивающие и циркуляционные.

Насосные станции I подъема забирают воду из источника водоснабжения и подают ее на очистные сооружения или, если не требуется очистки воды, непосредственно в резервуары, распределительную сеть, водонапорную башню либо другие сооружения в зависимости от принятой схемы водоснабжения. На промышленных предприятиях с процессами, предъявляющими различные требования к качеству воды, на одной и той же

насосной станции могут быть установлены насосы, подающие воду как на очистные сооружения, так и непосредственно на предприятия без очистки.

Насосные станции II подъема служат для подачи очищенной воды потребителям, обычно из резервуаров чистой воды.

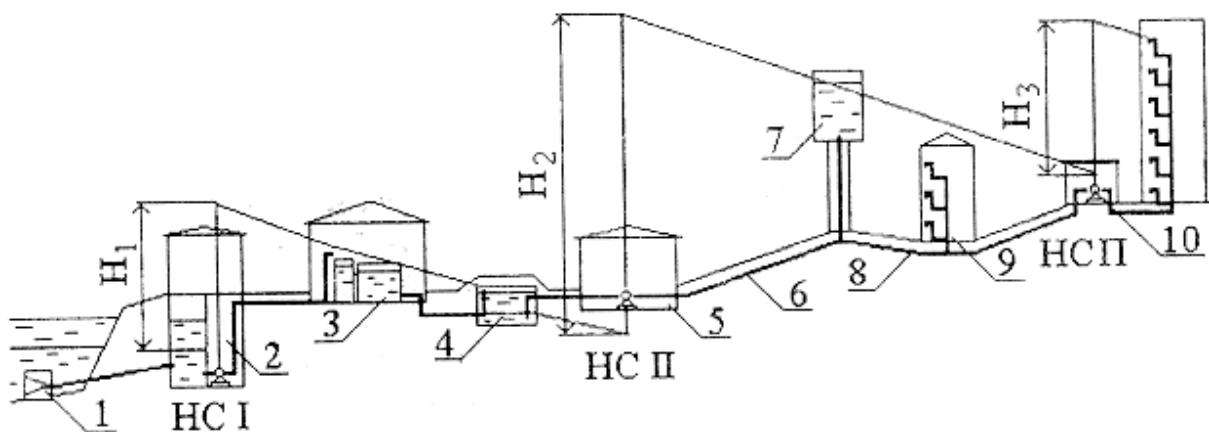


Рисунок 1.7 – Принципиальная схема насосной станции водоснабжения

В некоторых случаях насосы I и II подъема могут быть размещены на одной станции, что позволяет уменьшить расходы на строительство и эксплуатацию. Однако такое решение не всегда возможно и зависит от вида водоисточника, наличия и типа очистных сооружений, от рельефа местности и т.п.

Назначение насосных станций в схемах канализации заключается в подъеме сточной воды на очистные сооружения, если рельеф местности не позволяет подавать эти воды самотеком. Канализационные насосные станции устраивают также для того, чтобы избежать большого заглубления самотечного коллектора. В этом случае сточные воды из заглубленного коллектора подаются в другой, расположенный выше.

Подкачивающую насосную станцию (ПНС) также называют повысительной или промежуточной насосной станцией. Такая станция предназначена для перекачивания и повышения давления чистой воды в

системе водоснабжения (Рисунок 1.8). Установка данного оборудования — ПНС — обеспечивает решение задач хозяйственно-бытового и противопожарного водоснабжения не только одного или нескольких зданий промышленного, административного или жилого назначения (в том числе, повышенной этажности), но и целых населённых пунктов и предприятий [9].

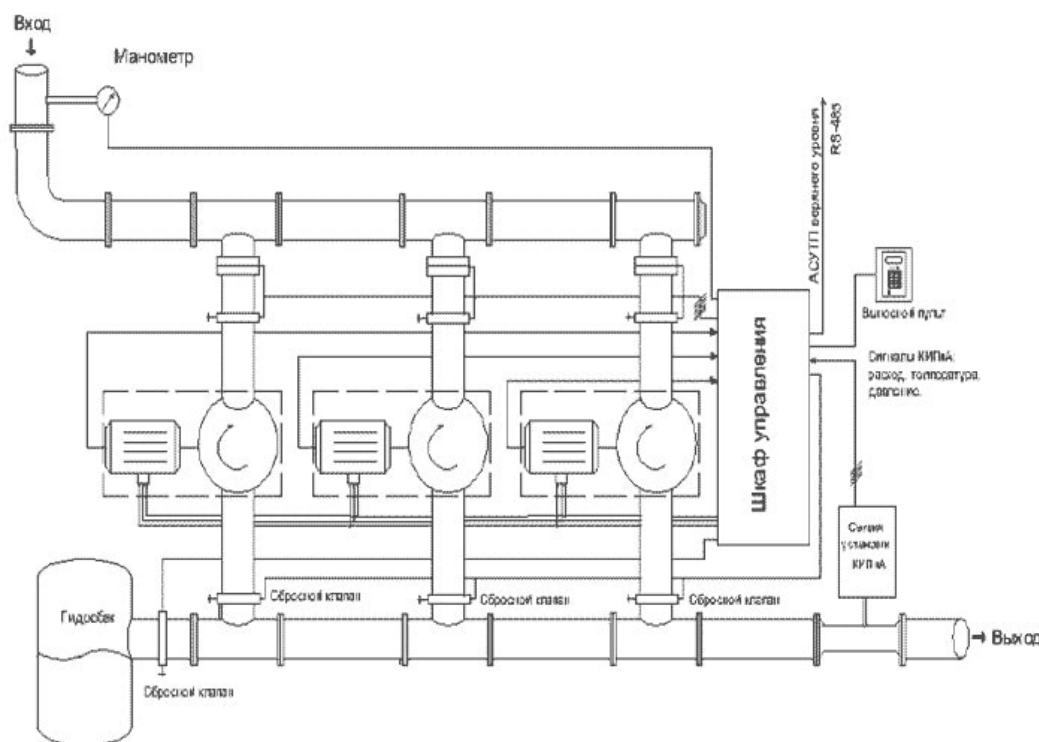


Рисунок 1.8 – Схема подкачивающей насосной станции

Режим работы подкачивающей станции может быть круглосуточным. В таком случае, её подключают непосредственно к трубопроводу, и она будет запускаться каждый раз, когда давление в трубах начнёт ослабевать. В производственных трубопроводах такую схему используют чаще всего.

В жилых комплексах напор воды падает в определённые часы, когда происходит максимальное водопотребление. В таком случае, режим работы подкачивающей станции может быть ступенчатым. Тогда группу насосов подключают к трубопроводу не напрямую, а через накопительный резервуар. Как только уровень жидкости в нём падает до определённой отметки, поплавковые датчики дают команду на запуск и подкачку воды.

Расстояния от насосной станции до жилых и общественных зданий принимаются с учетом норм допустимого уровня шума в жилой застройке.

Рассмотрим более подробно работу ПНС на примере Сосновоборской.

## **1.2 Функциональная структура теплоснабжения г. Сосновоборска**

Система теплоснабжения представляет собой инженерный комплекс из источников тепловой энергии и потребителей тепла, связанных между собой тепловыми сетями различного назначения, имеющими характерные тепловые и гидравлические режимы с заданными параметрами теплоносителя. Величины параметров и характер их изменения определяются техническими возможностями основных структурных элементов системы теплоснабжения (источников, тепловых сетей и потребителей), экономической целесообразностью.

В настоящее время на территории г. Сосновоборска существует централизованная схема теплоснабжения. Теплоснабжение осуществляется от источника тепловой энергии, состоящего из двух котельных: котельной «Сосновоборская ТЭЦ» (далее СТЭЦ) и котельной «Железнодорожная ТЭЦ» (далее ЖТЭЦ). Обслуживающая организация тепловых сетей (сетевая организация) – Муниципальное унитарное предприятие «Жилищно-коммунальный сервис» г. Сосновоборска (далее – МУП «Жилкомсервис»).

Расчет между теплоснабжающей и сетевой организацией осуществляется по приборам учета, установленным на границе балансовой принадлежности сетей.

СТЭЦ оборудована двумя паровыми котлами ГМ 50-14/250, тремя котлами ПТВМ-100, одним котлом КВГМ-100, пятью котлами КЭВ 6000/6. Проектная мощность котельной составляет 486 Гкал/час, фактическая 150 Гкал/час. Расчетная температура теплоносителя: 70 – 130 °С, фактическая – 65 – 100 °С.

Система теплоснабжения двухтрубная, открытая, подающими одновременно тепло на отопление, вентиляцию и горячее водоснабжение. Схема тепловых сетей радиально-кольцевая. Общая протяженность тепловых сетей в 2х трубном исполнении 36,33 км. Год введения в эксплуатацию источника теплоснабжения – 1973. Категория потребителей тепла по надежности теплоснабжения и отпуску тепла – вторая.

Сетевая вода для систем отопления потребителей подается от СТЭЦ по 2-х трубной системе теплоснабжения. Исходной водой для водоподготовительной установки СТЭЦ являются подрусловые воды реки Енисей. Водозаборные сооружения инфильтрационного типа производительностью 1500 м<sup>3</sup>/час расположены на о. Есаульский и представляют собой 18 скважин глубиной до 25 метров, соединенных сифонными водоводами с насосными станциями первого подъема (НЪПВ-1 – 2 шт.). Из скважин центробежными насосами НХПВ-1 (6 шт.) по напорным водоводам вода подается в резервуары сырой воды (РХСВ 1,2,3,4) насосной станции второго подъема (НХПВ-2) объемом 3000 м<sup>3</sup> каждый.

В состав теплофикационной установки СТЭЦ входят: водогрейные мазутные котлы; водогрейные электродные котлы; подогреватели сетевой воды с охладителями конденсата; подогреватель химочищенной воды первой ступени – ПХВ-I; подогреватель ПСГ; сетевые насосы; подпиточные насосы; вакуумный деаэратор; вакуумные насосы; аккумуляторные баки.

Железнодорожная ТЭЦ расположена в промышленной зоне г. Сосновоборска. ЖТЭЦ представляет собой угольную котельную с четырьмя котлами типа Е-160-1,4. Установленная тепловая мощность 380,0 Гкал/ч, полезная тепловая мощность согласно проекту – 328,5 Гкал/час, располагаемая тепловая мощность для Сосновоборска по состоянию на текущий момент времени – 60 Гкал/ч. Различие между установленной и располагаемой мощностью обусловлено режимными параметрами (доступным



расходом и температурой сетевой воды) для теплоснабжения потребителей г. Железногорска.

### **1.3 Принцип работы Сосновоборской подкачивающей насосной станции**

Для поддержания системы водоснабжения применяют подкачивающие насосные станции, расположенные по трассе канала забирают воду непосредственно из предшествующего участка канала и подают в последующий.

Задача подкачивающей насосной станции – поддержание заданного давления в подающем трубопроводе. Автоматическое управление насосов осуществляется по сигналу от датчика давления, установленного на подающем трубопроводе. При увеличении количества потребителей воды давление в системе начинает снижаться. Если давление упадет ниже заданного, то включится первый насос и повысит давление. При дальнейшем увеличении потребителей воды производительности одного насоса становится недостаточно и давление в системе снижается. При снижении давления ниже заданного включается второй насос и повышает давление. Присутствующий в установке повышения давления резервный насос запускается автоматически при неисправности рабочего насоса.

Насосные станции в тепловых сетях предназначены для увеличения располагаемого напора, повышения расхода теплоносителя и изменения давления в трубопроводах тепловой сети. Насосные станции повышают давление в подающем трубопроводе и снижают в обратном.

Красноярская ТЭЦ-4, ранее носившая название Сосновоборская ТЭЦ, является тепловой электроцентралью, расположенной в Красноярском крае, в городе Сосновоборске. ТЭЦ-4 является филиалом отечественной генерирующей компании ОАО «Енисейская ТГК (ТГК-13)». В настоящее время Красноярская ТЭЦ-4 работает в режиме котельной и не производит

электрическую энергию. ТЭЦ-4 снабжает теплом промышленные предприятия и жилищно-коммунальный сектор города Сосновоборска. Кроме того, Сосновоборская ТЭЦ обеспечивает своих потребителей не только горячей, но и холодной водой. Сейчас в постоянной эксплуатации находятся 4 водогрейных и 2 паровых котельных агрегата суммарной тепловой мощностью 460 Гкал/ч, а также 5 электродных котлов располагаемой мощностью 26 Гкал/ч. Основным топливом для котлов служит мазут.

Общая схема циркуляции воды системы водоснабжения показана на рисунке 1.9

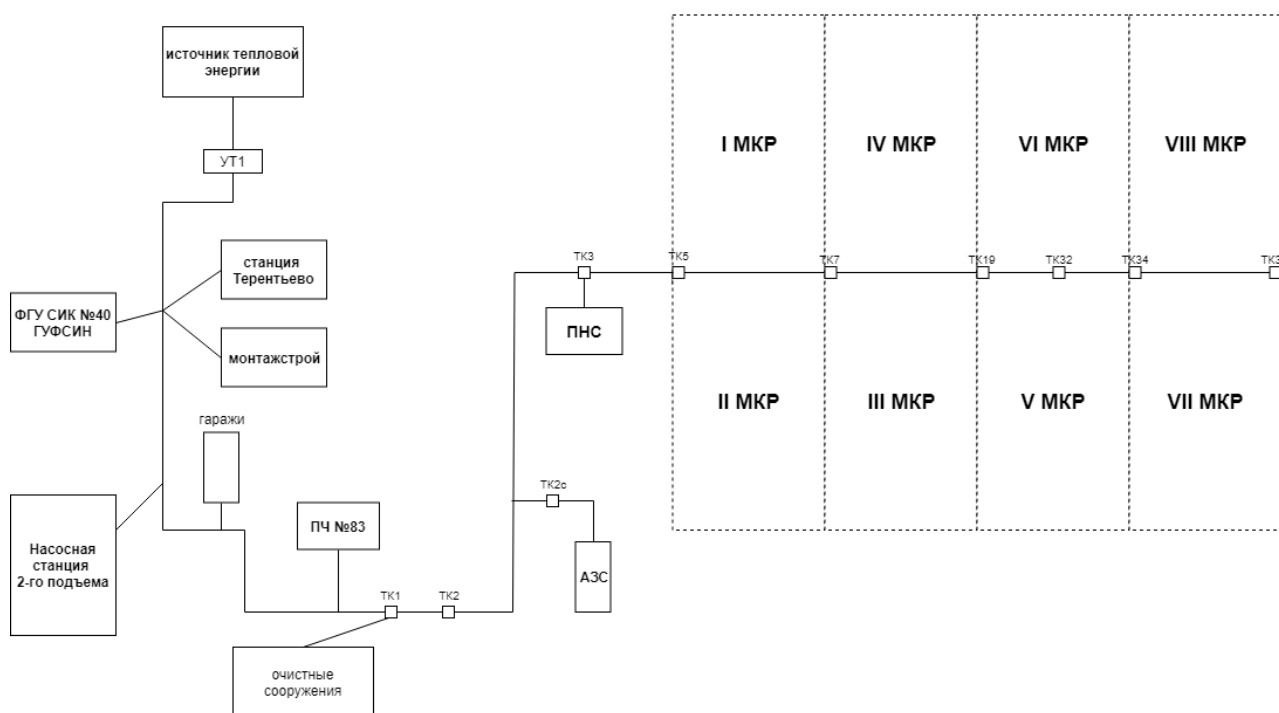


Рисунок 1.9 – Общая схема циркуляции воды г. Сосновоборска

Работа подкачивающей насосной станции осуществляется следующим образом:

- передача горячей воды от ТЭЦ по подающему трубопроводу в город;
- передача воды из города по обратному трубопроводу обратно в ТЭЦ;
- обеспечение постоянного требуемого давления в системе насосами;

- регулирование температуры воды в системе путем подачи воды из обратного трубопровода через перемычку на подающий трубопровод.

Для обеспечения надежности теплоснабжения города Сосновоборска, установлена подкачивающая насосная станция тепловых сетей, расположенная перед жилой застройкой, которая обеспечивает необходимые гидравлические режимы (располагаемые напоры) и циркуляцию, а также уменьшает избыточное давление в системе теплоснабжения города до нормативных (не более  $7 \text{ кгс/см}^2$  на абонентских вводах).

На данный момент в ПНС действующий температурный режим –  $65 - 100^\circ\text{C}$ , давление в подающем трубопроводе на выходе из теплоисточника  $P_1 = 1 \text{ МПа}$ , расход теплоносителя в подающем и обратном трубопроводе –  $2200/1900 \text{ т/ч}$ . Располагаемый перепад на границе раздела обеспечивается работой сетевых насосов, установленных на теплоисточнике [5].

#### **1.4 Описание оборудования применяемого на подкачивающей насосной станции водоснабжения**

На Сосновоборской ПНС установлено три насоса марки СЦН1250/70-11 с электродвигателями АИР 355 М4У3 (два рабочих, один резервный) со следующими характеристиками каждого из насосов:  $N = 315 \text{ кВт}$ ;  $n = 1500 \text{ об/мин}$ ;  $Q = 1250 \text{ м}^3/\text{час}$ ;  $H = 0.68 \text{ МПа}$ .

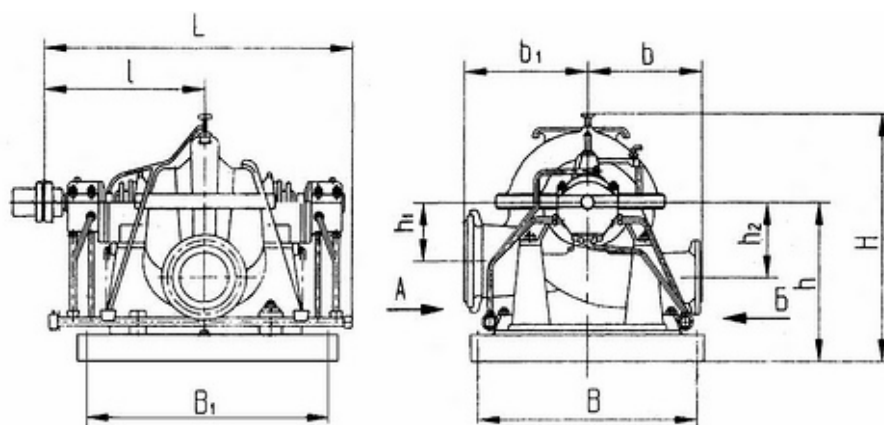


Рисунок 1.10 – Схема насоса СЦН 1250/70-11

В здании насосной станции предусматриваются: машинный зал, в котором размещаются насосные агрегаты; помещение распределительных устройств; щитовое помещение; трансформаторные камеры; мастерская для производства мелкого ремонта; помещения для эксплуатационного персонала; санитарный узел. Помещение распределительных устройств, щитовое помещение, трансформаторные камеры располагают с одного торца машинного зала.

Важное значение для поддержки бесперебойной работы насосной станции имеет резервный насос. Подкачивающие станции практически всегда работают в автоматическом режиме. Каждый резервный насос отвечает за свою группу рабочих агрегатов. Если, при получении команды «пуск», один из них по какой-то причине не запускается в течение 10 секунд, в работу включается резервный насос.

Для того чтобы станция могла нормально функционировать, давление в подающем трубопроводе не должно быть меньше  $10\text{ м}^3/\text{час}$ . В противном случае, в трубопроводе всасывающем образуется вакуум, либо может произойти разгерметизация соединений, с последующим подсосом загрязнённого воздуха.

Отдельные насосы с арматурой и измерительными приборами, установленными на их напорных и всасывающих патрубках, должны отключаться от коллекторов задвижками. В подкачивающих насосных станциях на трубопроводах подающей и обратной сетевой воды установлены регулятор давления и обратный клапан. Обратные клапаны, а также регулирующие клапаны и другие устройства, в которых происходят потери давления, устанавливаются на напорных трубопроводах насосов.

На трубопроводах подающей и обратной сетевой воды на входе и выходе из насосной станции установлены отключающая арматура (задвижки). На участке тепловой сети Сосновоборской ПНС установлены трубопроводы наружным диаметром 529 мм и длиной 133 м (в двухтрубном

исчислении). Трубопровод проложен в подземных железобетонных лотках и изолирован минерализом и асбестоцементной штукатуркой.

### **1.5 Целесообразность модернизации подкачивающей насосной станции**

Модернизация предназначена для создания автоматизированного управления процессами водоснабжения, для предоставления обслуживающему персоналу в удобном для него виде необходимой информации о ходе технологического процесса, а также для передачи необходимой информации на диспетчерский пункт заказчика.

Целью модернизации оборудования ПНС является улучшение всего комплекса эксплуатационных показателей объекта управления, повышение уровня безопасности и безопасности технологического процесса, повышение эффективности и удобства работы обслуживающего персонала.

Предпосылками для достижения поставленных целей должно служить управление электродвигателями насосных агрегатов (НА) с использованием преобразователей частоты, построение системы управления на основе серийно выпускаемых средств цифровой техники с элементной базой высокой степени интеграции, использование развитых унифицированных сетевых средств передачи информации, покупных и разрабатываемых универсальных средств создания программного и информационного обеспечения системы.

Ранее на Сосновоборской насосной станцией использовался ручной тип управления оборудованием, в связи с этим стало актуальным проектирование автоматического режима управления оборудованием ПНС. Согласно договору с индивидуальным предпринимателем Одинцовым Вячеславом Сергеевичем в 2018 году на ПНС была проведена модернизация в результате которой для управления насосами предусмотрено 2 режима - Ручной и Автоматический. После модернизации все насосы станции получили

возможность управления в автоматическом режиме. Проектом было предусмотрено максимальная совместимость и однотипность оборудования, что позволило сократить эксплуатационные затраты.

Также на ПНС произведен монтаж автоматизированной системы управления насосными агрегатами с применением частотного регулирования, что позволяет:

- стабилизировать эксплуатационные показатели технологического оборудования и режимных параметров технологического процесса;
- обеспечить оперативный контроль, сокращающий время, требуемое на принятие мер по бесперебойной работе оборудования;
- уменьшить время простоя подкачивающей насосной станции за счет своевременного реагирования на входящие события (в т.ч. оповещения о неполадках);
- снизить затраты на срочный ремонт оборудования за счет своевременного извещения о необходимости ремонта или замены оборудования (выдача автоматических предупреждений о необходимости планового ремонта и т.п.);
- снизить затраты на электроэнергию за счет применения частотного регулирования насосными агрегатами;
- улучшить технологический процесс за счет анализа использования накопленной технологической информации;
- внедрить развитые средства диагностики для сокращения времени на ремонтные работы;
- предотвратить аварийные ситуации.

## **Выводы по главе 1**

По результатам проведенного анализа для достижения поставленной цели дипломной работы необходимо решить следующие задачи:

- описать выбранные технологические средства автоматизации;
- проанализировать работу подкачивающей насосной станции в ручном и автоматическом режимах;
- создать компьютерную динамическую модель системы автоматизации подкачивающей насосной станции в SimInTech для определения влияния конкретных параметров на работоспособность системы.

## **2 Автоматизация подкачивающей насосной станции**

### **2.1 Состав и содержание работ по созданию АСУ ТП**

Процессы автоматизации и диспетчеризации подкачивающей насосной станции не только обеспечивают контроль над работой систем водоснабжения, но также являются основой для формирования единой информационно-управляющей системы, которая позволяет значительно снизить энергопотребление систем водоснабжения, а также повысить надежность их работы.

Автоматизация – применение специальных технических средств, приспособлений, устройств и систем, осуществляющих контроль и управление технологическими процессами на различных объектах систем водоснабжения.

Диспетчеризация насосных станций – составляющая основу эффективности водоснабжения централизованная система управления его элементами, обеспечивающая скоординированную и слаженную работу входящего в состав комплекса подачи воды оборудования и обслуживающих подразделений. Использование при диспетчерском сопровождении водоснабжения автоматизированного контроля процессов позволяет снизить потери воды, сократить количество обслуживающего персонала и повысить эффективность использования оборудования, создав условия для значительного уменьшения финансовых затрат, а также повышения качества оказываемых потребителям сервисов, связанных с потреблением воды.

Функции диспетчеризации насосных станций, выполняемые с применением автоматизированного контроля:

- 1 обеспечение непрерывного водоснабжения потребителей с заданной величиной давления и температуры в системе;



- 2 увеличение уровня надежности системы, обеспечиваемое эффективным контролем эксплуатационных параметров используемого в технологическом процессе оборудования;
- 3 мониторинг и сохранение периодической информации о функционировании сети с ее последующей аналитической и статистической обработкой;
- 4 учет потребления воды и подготовка графиков эксплуатации насосов;
- 5 снижение времени анализа и принятия решений в нестандартных ситуациях;
- 6 уменьшение эксплуатационных расходов, основанное на рациональном использовании энергоносителей и повышении эффективности использования обслуживающего персонала с оптимизацией его численности;
- 7 управление насосным оборудованием, обеспечивающее стабильное давление в водопроводных магистралях при изменении объема потребления;
- 8 уменьшение нерационального расходования энергоносителей без нарушения используемых в водоснабжении технологий.

Диспетчерское управление работой системы водоснабжения осуществляется с использованием программного комплекса, обеспечивающим оператору интерактивный доступ к архиву данных о функционировании агрегатов и возможность управления технологическим оборудованием.

Выводимые в виде отображающих состояние агрегатов и устройств с указанием ключевых эксплуатационных параметров мнемосхем, графиков, таблиц и изображений данные позволяют диспетчеру эффективно контролировать ситуацию и принимать необходимые решения. На расположенном в пункте диспетчерского управления сервере находится

архив данных о функционировании системы, используемых для аналитических и статистических исследований, а также при планировании работы системы водоснабжения.

## **2.2 Описание выбранных средств автоматизации**

Для получения достоверной качественной и количественной информации о параметрах технологического процесса необходимо выбрать соответствующий метод и средства измерения.

Выбор метода измерения и первичного преобразователя определяется конкретными условиями измерения (измеряемой средой, ее параметрами, особенностями технологического процесса и т.п.) и требованиями, предъявляемыми к точности измерения и функциям, выполняемым средствами измерения [2].

Основными критериями выбора средств автоматизации являются:

- диапазон измеряемой величины;
- класс точности;
- условия эксплуатации.

В соответствии с диапазоном измерения и степени агрессивности среды выбирается тип датчика.

В выборе преобразователей необходимо учитывать вид сигнала, поступающего с выхода датчика. Для каждого вида сигнала существует определенный вид преобразователя, рассчитанный на работу с этим сигналом.

Модуль ввода аналоговый MB110-224.8A (Рисунок 2.1) был выбран для измерения аналоговых сигналов, преобразования измеренных параметров в значение физической величины и последующей передачи этого значения по сети RS-485.



Рисунок 2.1 – MB110-224.8A Модуль ввода аналоговый

Первичные преобразователи (датчики) предназначены для контроля физических параметров объекта (температуры, давления, расхода и т.п.) и преобразования их в электрические сигналы, оптимальные с точки зрения дальнейшей их обработки.

Сигнал с датчика, измеряющего физический параметр объекта (температуру, давление и т.п.), поступает в прибор в результате последовательного опроса датчиков прибора. Полученный сигнал преобразуется по данным НСХ в цифровые значения. В процессе обработки сигналов осуществляется их фильтрация от помех и коррекция показаний в соответствии с заданными пользователем параметрами.

Опрос датчиков и обработка их сигналов измерительным устройством осуществляется последовательно по замкнутому циклу.

Сигналы датчиков поступают на вход измерительного устройства, где происходит вычисление текущих значений контролируемых физических параметров и преобразование их в цифровой вид [23].

Для организации автоматических систем контроля-регулирования выбран программируемый логический контроллер ОВЕН ПЛК160-24.А-М (Рисунок 2.2).



Рисунок 2.2 – ПЛК160-24.А-М ОВЕН Программируемый логический контроллер

ПЛК160-24.А-М ОВЕН моноблочный контроллер с дискретными и аналоговыми входами/выходами на борту для автоматизации средних систем [22]. Оптимальны для построения систем автоматизации среднего уровня и распределенных систем управления. Функциональная схема ПЛК представлена на рисунке 2.3.

Отличительные особенности контроллера ПЛК 160-24.А-М ОВЕН

- Мощные вычислительные ресурсы и большой объем памяти.
- Наличие дискретных и аналоговых входов/выходов на борту контроллера.
- Наличие последовательных портов (RS-232, RS-485) на борту контроллера.
- Наличие порта Ethernet для включения в локальные или глобальные сети верхнего уровня.

- Поддержка протоколов обмена Modbus (RTU, ASCII), OVEN, DCON.
- Возможность работы напрямую с портами контроллера, что позволяет подключать внешние устройства с нестандартными протоколами.
- Контроллер имеет встроенные часы, что позволяет создавать системы управления с учетом реального времени.
- Встроенный аккумулятор, позволяющий организовать ряд дополнительных сервисных функций: возможность кратковременного пережидания пропадания питания, перевод выходных элементов в безопасное состояние.

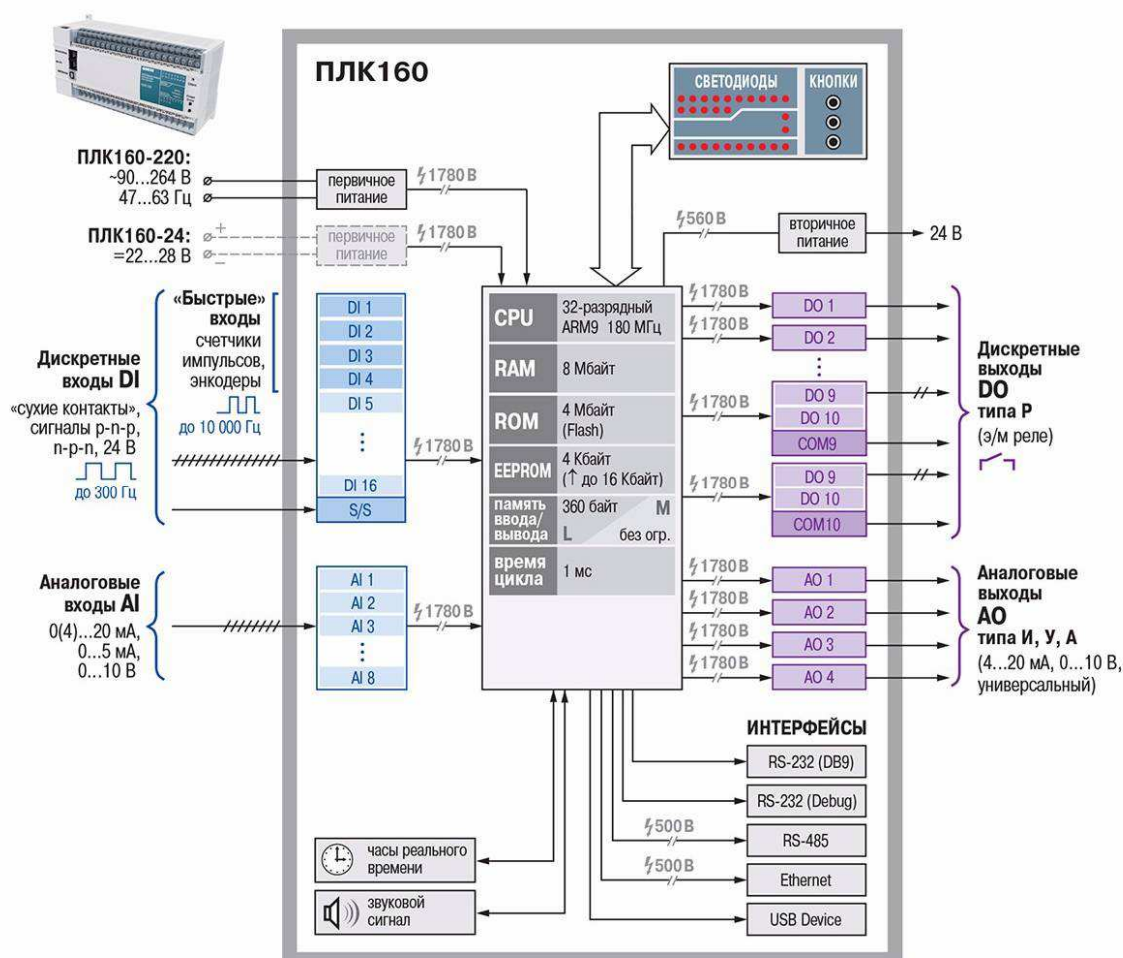


Рисунок 2.3 – Функциональная схема ПЛК 160-24.A-M ОВЕН

Для наглядного отображения значений параметров и оперативного управления (вывода результатов измерений технологических параметров и ручного управления в случае необходимости), а также ведения архива событий или значений используется сенсорная панель оператора ОВЕН СП310Б (Рисунок 2.4).

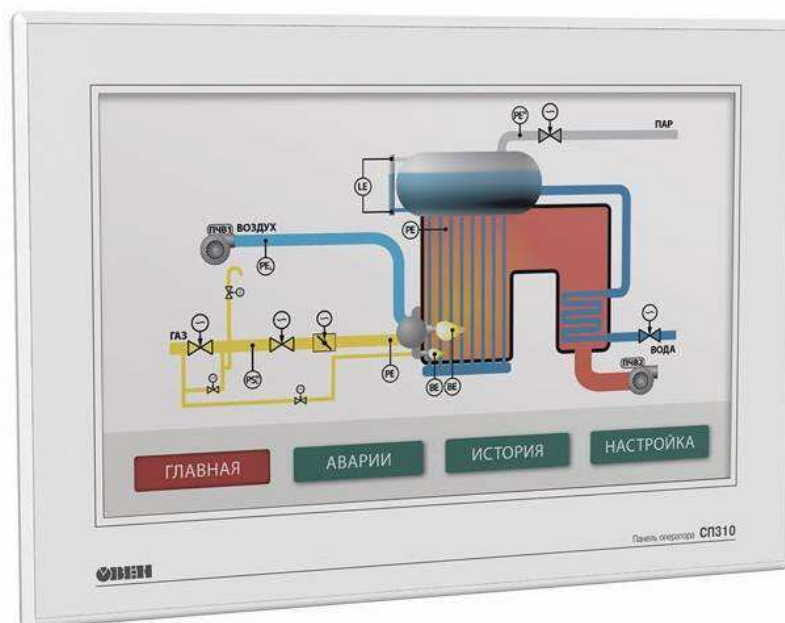


Рисунок 2.4 –Панель оператора ОВЕН СП310-Б

Панель оператора с сенсорным экраном СП310-Б представляет собой устройство класса «человеко-машинный интерфейс», предназначенное для загрузки управляющей программы (проекта) функционирования ПЛК или др. приборов, к которым подключается панель, мониторинга функционирования и редактирования значений параметров функционирования. Позволяет отображать на экране состояние управляемого объекта в режиме реального времени, с использованием графических пиктограмм (индикаторы, графики, линейки, условные обозначения оборудования и т.д.), а также обеспечивает отображение сенсорных элементов, при помощи которых оператор осуществляет непосредственное управление функционированием объекта.

Панель оператора оборудована процессором AT91SAM9G35-CU с объемом памяти, содержит объем Flash-памяти 128 Мб и 128 Мб оперативной памяти. 4 DIP-переключателя. Рекомендуется источник питания с напряжением в диапазоне 23-27 В [21].

Для измерения давления воды в трубопроводах был взят датчик давления ОВЕН ПД100-ДИ1-311-1 (Рисунок 2.5), который представляет собой преобразователь избыточного давления с керамической измерительной мембраной, сенсором на основе технологии тензодатчик-на-керамике (ТНК) и кабельным вводом стандарта EN175301-803 (DIN43650 A).

Основной принцип преобразования давления в ОВЕН ПД100 – тензометрический. Чувствительным элементом является «мост Уитстона» из тензорезисторов, напыленных на мембрану из различного материала. Под действием измеряемого давления мембрана деформируется, тензорезисторы меняют величину своего сопротивления, нормирующий преобразователь преобразует разбалансировку «моста» в выходной сигнал с заданной погрешностью.



Рисунок 2.5 – Датчик давления

Данная модель характеризуется наиболее бюджетной ценой и устойчивостью к агрессивным средам.

Преобразователи данной модели предназначены для систем регулирования и управления на объектах жилищно-коммунального

хозяйства: прямых и обратных трубопроводах сетевой воды систем ГВС/ХВС, теплосчетчиках, станциях подкачки воды и т.п., где не требуется высокая точность измерений [15].

Схема подключения датчика давления представлена на рисунке 2.6.

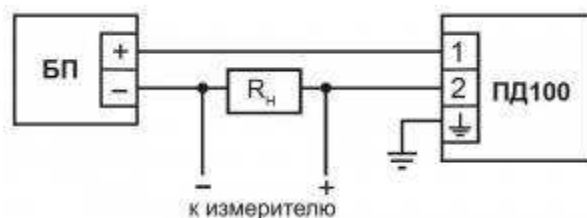


Рисунок 2.6 – Схема подключения датчика давления

Основные характеристики преобразователя давления:

- измерение избыточного давления нейтральных к керамике  $Al_2O_3$  и нержавеющей стали AISI 304S сред (газы, пар, вода, слабоагрессивные жидкости);
- преобразование давления в унифицированный сигнал постоянного тока 4...20 мА;
- верхний предел измеряемого давления – от 0,1 до 10,0 Мпа;
- перегрузочная способность – не менее 200%;
- основная приведенная погрешность – 1,0 %.

Для измерения температуры воды был взят датчик ОВЕН ДТС035-PT100.B3.200 (Рисунок 2.7) предназначенный для непрерывных температурных измерений твердых, жидких и газообразных сред, неагрессивных к защитной арматуре и материалу чувствительного элемента (ЧЭ) датчика. Термосопротивления с коммутационной головкой позволяют измерять температуру до  $180 \pm 0,60$  °С (ДТС с медным ЧЭ). Подключение к измерительной линии производится медным кабелем. Датчики преобразуют изменение температуры в изменение электрического сопротивления постоянному току. Входное напряжение до 10 В.





Рисунок 2.7– Датчик температуры

Датчики состоят из нескольких ЧЭ, соединенных с коммутационной головкой или кабельным выводом и помещенных в защитную арматуру. Принцип работы датчика основан на свойстве ЧЭ изменять электрическое сопротивление пропорционально изменению температуры окружающей среды [16].

В качестве реле давления был выбран Danfoss KPI35 (Рисунок 2.8) и предназначено для управления включением/выключением насоса при достижении в водопроводной сети установленного давления.



Рисунок 2.8 – Реле давления

KPI 35 – электромеханическое реле давления с изменяемым дифференциалом предназначено для регулирования низкого давления (диапазон настройки -0,2-8 МПа) в жидких и газообразных средах, а так же для сигнализации в различных промышленных установках. Реле давления снабжены однополюсным переключателем SPDT, которые замыкают или

размыкают электрическую цепь при изменении давления в системе по сравнению с заданным. Присоединяется к тепловому пункту с помощью импульсной трубки в верхней части трубопровода. Реле рассчитано на работу в среде с температурой от  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$  и давлением до 18 МПа [17].

Для управления электродвигателями насосных установок выбран преобразователь частоты Danfoss VLT FC202P315 (Рисунок 2.9) мощностью 315 кВт и обеспечивающий наиболее высокий уровень производительности для двигателей переменного тока, используемых в водоснабжении и водоотведении. Этот частотный преобразователь отличается широким диапазоном мощных стандартизированных функций.



Рисунок 2.9 – Преобразователь частоты

По причине значительных суточных колебаний нагрузки в установках водоснабжения или очистки сточных вод, экономически целесообразно использовать управление двигателем для вращающегося оборудования насосов. Электродвигатель насоса в этом случае питают от частотного преобразователя, задающего такую скорость вращения насоса, при которой давление в магистрали стабилизируется. Входное напряжение 380...480 В, выходная частота 0...590 Гц [18].

Для контроля электроприводов задвижек был выбран преобразователь частоты Danfos VLT Micro Drive это универсальный привод, управляющий двигателями переменного тока мощностью до 22 кВт (Рисунок 2.10).



Рисунок 2.10 – Преобразователь частоты Danfos VLT Micro Drive

Danfoss VLT Micro Drive используется в системах, где требуется поддержание на заданном уровне некоторого технологического параметра. Этот параметр измеряется соответствующим датчиком, выходной сигнал которого подается на вход преобразователя. Преобразователь частоты имеет пять программируемых цифровых входов, логику PNP/NPN, импульсный вход 20 – 5000 Гц, один аналоговый вход 0 –10 В или 0 – 20 мА, один аналоговый вход 0 – 20 мА, Вход термистора (аналоговый или цифровой), один аналоговый выход, одно реле, ~240 В, 2 А, возможность передачи данных по сети RS-485 [19].

Для контроля движения воды была выбрана задвижка с электроприводом ПЭМ Б5У (Рисунок 2.11) мощностью 1,1 кВт. Задвижки предназначены для дистанционного и местного управления запорной трубопроводной арматурой, устанавливаемой в закрытых помещениях и на открытых площадках под навесом.

ПЭМ Б5У изготавливаются для работы в кратковременном режиме работы при максимальной нагрузке продолжительностью не более 5% полного хода выходного вала.

Задвижка устанавливается непосредственно на трубопроводной арматуре или на подкачивающих конструкциях с любым расположением привода в пространстве, определяемым положением трубопроводной арматуры.



Рисунок 2.11 – Задвижка с электроприводом

Приводы устанавливаются непосредственно на трубопроводной арматуре или на промежуточных конструкциях с любым расположением привода в пространстве, определяемым положением трубопроводной арматуры. С помощью привода можно управлять открытием и закрытием задвижки с дистанционного пульта, а также автоматически отключать двигатель при достижении заданного положения или при достижении устройством крайних положений («Открыто», «Закрыто»).

Электрическое питание электродвигателя приводов осуществляется трехфазным током напряжением 380 В частотой 50 Гц [20].

## 2.3 Система управления подкачивающей насосной станции в автоматическом и ручном режимах

Работа подкачивающей насосной станции осуществляется следующим образом: на насосную станцию поступает вода из ТЭЦ определенной температуры и давления. При нормальных температуре и давлении задвижки на подающем и обратном трубопроводах открыты, а на перемычке закрыта. Если давление в системе падает ниже необходимого, в работу включаются насосы, повышая давление в системе. Если же в системе температура превышает необходимое значение, то задвижка на перемычке открывается, в следствии чего горячая вода поступающая из ТЭЦ подмешивается остывшей водой из города, таким образом общая температура в системе падает.

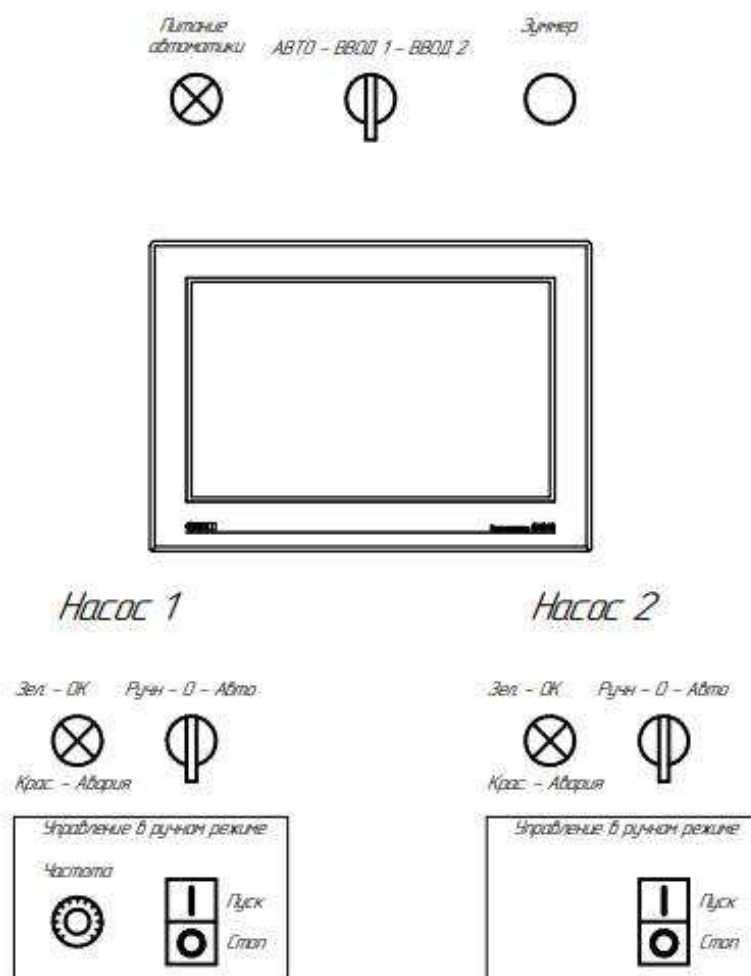


Рисунок 2.12 – Шкаф управления

В системе управления ПНС предусмотрено 2 режима управления – Ручной и Автоматический. Для выбора режима необходимо повернуть переключатель на щите управления в соответствующее положение. В ручном режиме пуск-стоп насоса выполняется с кнопок на щите управления (Рисунок 2.12), а частота вращения задается потенциометром на дверце щита управления, сигналы управления от контроллера блокируются. В автоматическом режиме насосами управляет ПЛК по заданному алгоритму. Установки и настройки для автоматического режима изменяются с панели оператора, сигналы от ручных органов управления блокируются.

Структурная схема определяет основные функциональные части изделия, их назначение и взаимосвязи между ними. Схема отображает принцип действия изделия в самом общем виде.

В системе 4 дискретных входных сигналов и 10 аналоговых унифицированных входных сигналов. 4 унифицированных аналоговых сигналов 4 до 20 мА и 4 дискретных сигнала 24 В поступают от датчиков на входные аналоговые и дискретные модули. Шесть аналоговых сигналов поступают с исполнительных механизмов, сообщающих о положениях задвижек и состоянии насосов. Шесть дискретных сигналов принимают входные дискретные модули. Так же, Шесть управляющих сигналов отправляются с выходного аналогового модуля и поступают на исполнительные механизмы.

На рисунке 2.13 приведена структурная схема системы подкачивающей насосной станции, в которой указаны все датчики, исполнительные механизмы, используемые для регулирования параметров процесса. Данная схема позволяет легко выяснить, какие модули необходимо использовать в контроллере, а так же наглядно показывает типы и количество входных и выходных сигналов.

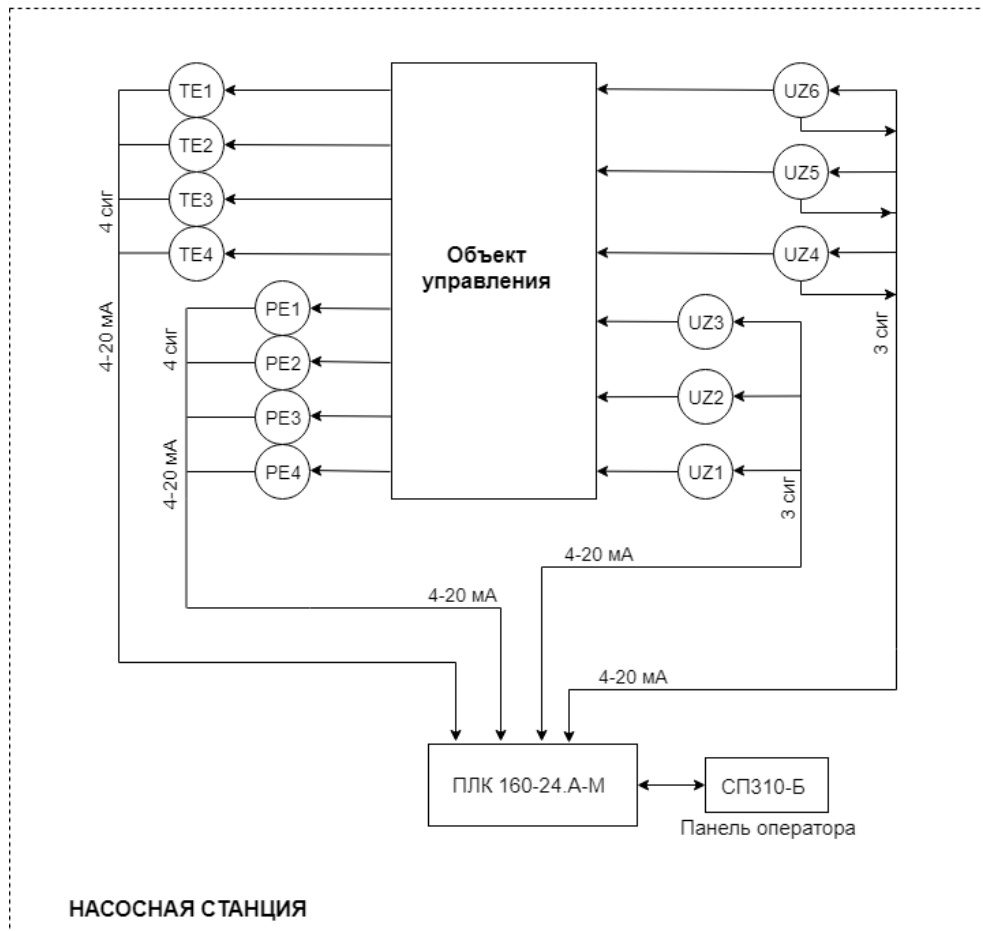
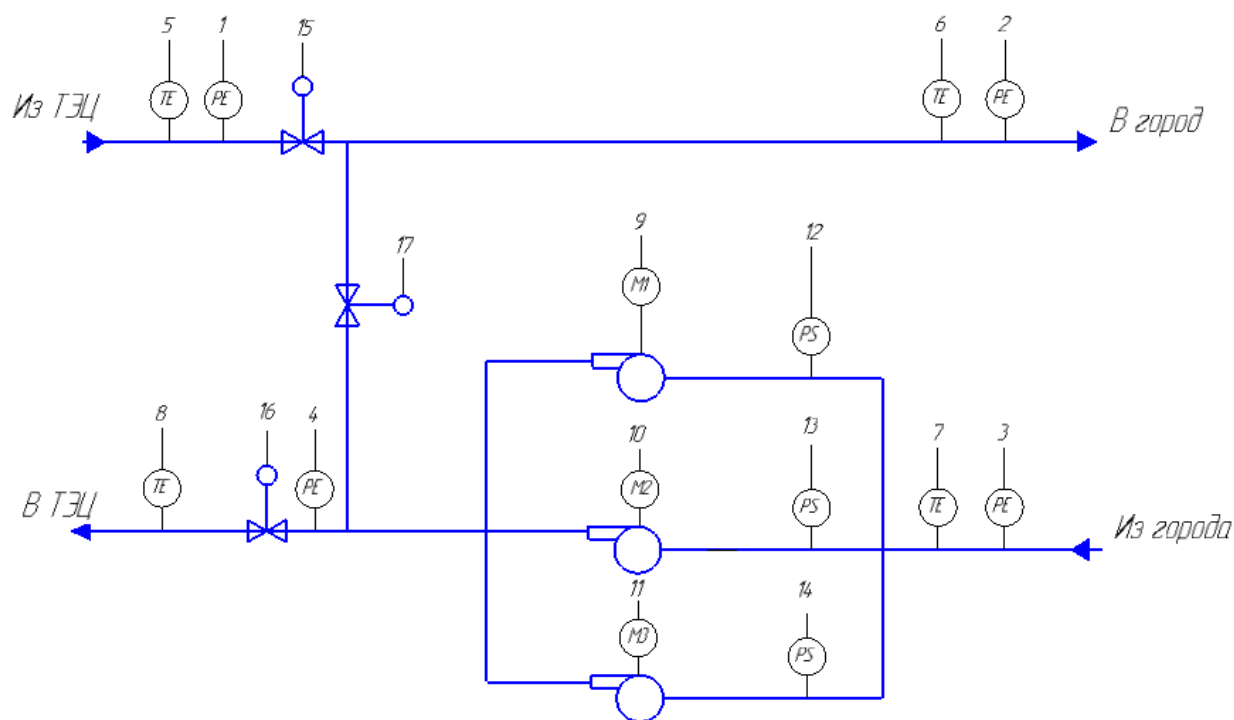


Рисунок 2.13 – Структурная схема автоматизации подкачивающей насосной станции

Функциональная схема показанная на рисунке 2.14 является основным техническим документом, определяющим структуру и характер автоматизации технологического процесса проектируемого объекта и оснащение его приборами и средствами автоматизации. На функциональной схеме условно изображают технологическое оборудование, коммуникации, устройства управления, приборы и средства автоматизации, а также связи между ними.



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
	Давление на входе прямой 4-20ма	Давление на выходе прямой 4-20ма	Давление на входе обратной 4-20ма	Давление на выходе обратной 4-20ма	Температура на входе прямой	Температура на выходе прямой	Температура на входе обратной	Температура на выходе обратной	Управление ПЧ насоса 1	Управление ПЧ насоса 2	Управление ПЧ насоса 3	Реле давления (защита сух. хода) насос 1	Реле давления (защита сух. хода) насос 2	Реле давления (защита сух. хода) насос 3	Клапан с электроприводом на прямой	Клапан с электроприводом на обратной	Клапан с электроприводом на перемычке
По месту																	
В щите																	
П/К	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
ПК	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•

Рисунок 2.14 – Функциональная схема автоматизации подкачивающей насосной станции

Таблица 2.1 – Приборы по месту

Позиция	Наименование	Кол.
12-14	Преобразователь частоты на насосе Danfoss VLT FC202P315	3
18-20	Задвижка с электроприводом ПЭМ Б5У	3



## 2.4 Параметры контроля и регулирования

Перечень параметров определяется технической необходимостью контролировать или регулировать определенные величины, так или иначе влияющие на технологический процесс, представлен в таблицах 2.2, 2.3 и 2.4.

Таблица 2.2 – Параметры контроля

№	Название	Значение
1	Давление воды на входе подающего трубопровода	До 1.6 МПа
2	Давление воды на выходе подающего трубопровода	До 1.6 МПа
3	Давление воды на входе обратного трубопровода	До 1.6 МПа
4	Давление воды на выходе обратного трубопровода	До 1.6 МПа
5	Температура воды на входе подающего трубопровода	0-180 °С
6	Температура воды на выходе подающего трубопровода	0-180 °С
7	Температура воды на входе обратной насосами	0-180 °С
8	Температура воды на выходе обратного трубопровода	0-180 °С

Таблица 2.3 – Параметры регулирования

№	Название	Назначение
1	Состояние электродвигателя насоса	Поддержание давления в системе теплоснабжения
2	Состояние задвижки на подающий трубопроводе	Подача воды из ТЭЦ по подающему трубопроводу
3	Состояние задвижки на обратном трубопроводе	Подача воды в ТЭЦ по обратному трубопроводу
4	Состояние задвижки на перемычке	Подача воды из обратного трубопровода в подающий

Таблица 2.4 – Параметры сигнализации

№	Название	Значение
1	Давление на входе подающего трубопровода	менее 0.5 МПа или более 1.2 МПа
2	Давление на выходе подающего трубопровода	менее 0.5 МПа или более 1.2 МПа

Продолжение таблицы 2.4

3	Давление на входе обратного трубопровода	менее 0.4 МПа или более 1.2 МПа
4	Давление на выходе обратного трубопровода	менее 0.4 МПа или более 1.2 МПа
5	Температура на выходе подающего трубопровода	менее 65°C или более 100°C
6	Температура на входе подающего трубопровода	менее 65°C или более 100°C
6	Температура на входе обратного трубопровода	менее 40°C или более 100°C

Выбранные контролируемые параметры оказывают наибольшее влияние на технологический процесс и должны контролироваться техническими средствами автоматизации в обязательном порядке.

## **Выводы по главе 2**

Построена структурная схема и представлена функциональная схема автоматизации системы управления ПНС. Описаны технические средства автоматизации, выбранные при модернизации подкачивающей насосной станции, включающие в себя главным образом: предохранительные, регулирующие задвижки и контрольно-измерительные приборы.

### 3 Моделирование процесса управления подкачивающей насосной станцией

#### 3.1 Теплогидравлический расчет

Исходные условия по тепловым нагрузкам теплопотребляющих систем зданий:

- Отопительный период – 5616 ч;
- Расчетная температура наружного воздуха для системы отопления,  $-37\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;
- Средняя температура за отопительный период,  $-6,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Расчет расходов сетевой воды производился при температурном режиме  $65 - 100\text{ }^{\circ}\text{C}$  с ограничением температуры теплоносителя в подающем трубопроводе до  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Среднечасовые расходы тепла и теплоносителя на водоснабжение для систем теплоснабжения рассчитывались по СП 30.13330.2012 «Внутренний водопровод и канализация зданий» [25].

Потери тепла трубопроводами системы теплоснабжения вычисляют по формуле

$$Q^{ht} = \sum Q_i^{ht}, \quad (3.1)$$

$$Q_i^{ht} = k \cdot dT \cdot l = k \cdot (T_{\text{ср}} - T_{\text{нар}}) \cdot l, \quad (3.2)$$

где  $Q_i^{ht}$  – теплопотери отдельных участков теплоснабжения, Вт;

$k$  – линейный коэффициент теплопередачи, Вт/(м $^{\circ}\text{C}$ );

$dT$  – температурный напор,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$T_{\text{ср}}$  – средняя температура воды в трубопроводе,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$T_{\text{нар}}$  – температура окружающего воздуха,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$l$  – длина участка трубопровода, м.

Расход теплоносителя (воды) в системе отопления это количество воды при определенном температурном режиме, которое должно доставляться к радиаторам за единицу времени, чтобы компенсировать тепловые потери теплосети. Расход теплоносителя определяется по следующей формуле:

$$Q_{от} = \frac{Q^{ht}}{c \cdot (T_2 - T_3)}, \quad (3.3)$$

где  $Q^{ht}$  – тепловые потери системы теплоснабжения, Вт;

$T_2$  – температура теплоносителя на выходе из подающего трубопровода, °С;

$T_3$  – температура теплоносителя на входе в обратном трубопроводе, °С;

$c$  – удельная теплоемкость воды,  $\frac{Дж}{кг \cdot ^\circ C}$ .

В таблице 3.1 представлены расчетные данные по расходу теплоносителя [5].

Таблица 3.1 – Расход теплоносителя отапливаемых объектов г. Сосновоборска

	Направления	$Q_{от}$ , Гкал/ч
1	Потребители, подключенные от магистральной тепловой сети 2Ду 600мм	12.99
2	Потребители I микрорайона	8.2
3	Потребители II микрорайона	9.36
4	Потребители III микрорайона	10.83
5	Потребители IV микрорайона	11.18
6	Потребители V микрорайона	12.14
7	Потребители VI микрорайона	9.74
8	Потребители VII микрорайона	15.55

Продолжение таблицы 3.1

9	Потребители VII микрорайона	5.74
10	Потребители IX микрорайона	0.63
11	Общая нагрузка на границе раздела	83.37

Расчет потерь температуры в трубопроводах системы теплосети определяется по формуле:

$$T_3 = \frac{3,6 \cdot Q_{\text{уч}} \cdot T_2 - Q_i^{\text{ht}} \cdot (1/1,163)}{3,6 \cdot Q_{\text{уч}}} \quad (3.4)$$

где  $Q_{\text{уч}}$  - расчетный расход воды на участке трубопровода, л/с;

$Q_i^{\text{ht}}$  – теплотери участка трубопровода с учетом изоляции, Вт;

$T_2$  – начальная температура теплоносителя, °С;

(1/1,163) – коэффициент перевода. 1 ккал/ч = 1,163 Вт.

Результаты вычислений по формуле (3.4) показаны в таблице 3.2

Таблица 3.2 – Потери температуры теплоносителя в трубопроводах

Температура на выходе подающего трубопровода, $T_2$ °С	Температура на входе обратного трубопровода, $T_3$ °С	Температура наружного воздуха, $T_{\text{нар}}$ °С
75	50	0
85	60	0
75	48,5	-10
85	58,5	-10
75	40,15	-20
85	50,25	-20

При движение воды по трубе, возникает сопротивление от трения её о стенки, а также о различные преграды. Это явление получило название

гидравлическое сопротивление трубопровода. Его численное значение находится в прямой пропорциональной зависимости от скорости потока.

Расчёт потери давления на участке трубопровода известной длины выполняется следующим образом:

$$\Delta p = RL(1 + K_m), \quad (3.5)$$

где,  $\Delta p$  – потеря давления в метрах водяного столба. Такая характеристика применима ввиду того, что изменяется давление воды в её потоке;

$R$  – удельные потери давления на 1 м длины трубопровода, Па/м;

$L$  – длина трубопровода в метрах, м;

$K$  – коэффициент дополнительных сопротивлений по (СНиП II-34–76) [26].

В таблице 3.3 представлены значения давлений в трубопроводе разница между которыми соответствует величине вычисленной по формуле (3.5).

Таблица 3.3 – Сравнение значений давления теплоносителя в трубопроводе

Давление на выходе подающего трубопровода $P_2$ , МПа	Давление на входе обратного трубопровода $P_3$ , МПа
1.2	1.0
1	0.8
0.95	0.75
0.85	0.65
0.7	0.5
0.6	0.4

Сравнение значений давления теплоносителя в трубопроводе показало, что потери давления составляют 0,2 МПа.

### 3.2 Моделирование системы управления насосной станцией в автоматическом режиме

Выбор режима работы (ручного или автоматического) осуществляется оператором насосной станции с поста оператора. Выбор режима для управления задвижками осуществляется переключателем. Для пуска или останова системы в автоматическом режиме или вывода СУ из аварийной ситуации используются кнопки «Пуск» или «Стоп». Постоянно в работе могут находиться один или два насоса, третий насос является резервным (профилактический осмотр, плановый ремонт). Резервный насос выбирают положением переключателя на панели управления оператора. После выбора резервного насоса в автоматическом режиме закрывается задвижка, находящаяся в напорной части водопровода этого насоса, две другие задвижки открыты.

Описание алгоритма управления насосами подкачивающей насосной станцией показанного в Приложении А.

При поступлении с датчика сигнала на выходе подающего трубопровода о том, что давление меньше нормы  $P_{\min} < P_{\text{тек}} < P - X$ , система управления проверяет число работающих насосов. Если работает один насос, то делается проверка работы преобразователя частоты (ПЧ) на максимальной частоте. Если нет, то дается команда на увеличение его частоты, в противном случае происходит переключение насоса, работающего от ПЧ, к сети, а к ПЧ подключается другой насос (до этого не работавший).

Если поступил сигнал давление больше нормы  $P + X < P_{\text{тек}} < P_{\max}$ , система управления проверяет число работающих насосов. Если работают два насоса, то делается проверка работы ПЧ на минимальной частоте. Если нет, то дается команда на уменьшение его частоты, в противном случае происходит отключение насоса, работающего от ПЧ, а к ПЧ подключается насос, работающий от сети.

Если давление в насосной станции больше максимально допустимого значения  $P_{тек} > P_{max}$  или меньше минимального  $P_{тек} < P_{min}$  то система управления устанавливает флаг «Авария» и прекращает работу. Ручной режим является аварийным и необходим только для работы когда невозможен автоматический режим работы системы управления.

Описание алгоритма управления задвижками подкачивающей насосной станцией показанного в Приложении Б.

Температура на выходе с насосной станции находится в заданных пределах  $T - Y < T_{тек} < T + Y$  (где  $Y$  - допустимый диапазон изменения температуры).

В случае, когда температура становится больше нормы  $T - Y \leq T_{тек} \leq T_{max}$ , система управления проверяет открыта ли задвижка на перемычке и закрыты ли задвижки на подающем и обратном трубопроводе, в противном случае, происходит открытие задвижек на подающем и обратном трубопроводе, а на перемычке закрывается. Если предыдущее условие выполняется, то проверяется полностью ли перемычка открыта, если она открыта на 100%, то задвижки остаются в том же положении, что и прежде пока температура не стабилизируется, в ином случае подается команда на открытие задвижки.

Если температура меньше нормы  $T_{min} \leq T_{тек} \leq T + Y$ , система управления проверяет закрыта ли задвижка на перемычке и открыты ли задвижки на подающем и обратном трубопроводе. Если нет, то происходит закрытие задвижек на подающем и обратном трубопроводе, а на перемычке открывается, если да, то проверяется полностью ли она закрыта. При условии, что задвижка закрыта полностью, система управления оставляет задвижки в том же положение пока температура не стабилизируется, если перемычка не закрыта, то подается команда на закрытие задвижки на перемычке, и на открытие задвижек на подающем и обратном трубопроводах.



Если температура меньше минимальной или больше максимальной, то устанавливается флаг «Авария» и система переходит в аварийный режим работы после чего производится закрытие всех задвижек и остановка двигателей.

### **3.3 Компьютерная модель с применением программы SimInTech**

При разработке компьютерных математических моделей используют специальное программное обеспечение, которое позволяет упростить и автоматизировать разработку модели.

Это достигается использованием принципа визуального программирования, в соответствии с которым, пользователь на экране из библиотеки стандартных блоков создает модель устройства и осуществляет расчеты. При этом, в отличие от классических способов моделирования, пользователю нет необходимости подробно изучать язык программирования и численные методы математики, а достаточно общих знаний требующихся при работе на компьютере и, естественно, знаний той предметной области, в которой он работает.

Существует большое множество прикладного программного обеспечения, которое позволяет реализовать принцип визуального программирования при разработке компьютерных математических моделей:

- Simulink;
- ПК MBTU;
- SimInTech.

Для моделирования выбрана программа SimInTech в связи с тем, что она обладает более мощными возможностями и является бесплатной.

SimInTech представляет собой универсальную систему автоматизации расчетов для моделирования явлений и процессов различной природы в сложных технических системах. Объектом моделирования в SimInTech может являться любая система, устройство или физический процесс,

математическая модель динамика которых описывается системой дифференциально-алгебраических уравнений и может быть реализована методами структурного моделирования.

SimInTech реализует принцип модельно-ориентированного проектирования, позволяющий совместить проектирование технологических систем с созданием их комплексных моделей динамики. Первоначально комплексная модель динамики может быть упрощенной, что обеспечивает проверку базовых принципов работы моделируемого объекта и его системы управления. По мере проектирования отдельные части модели возможно уточнять и дополнять для максимально подробного соответствия реальному [12].

### 3.3.1 Моделирование работы системы

Общий вид компьютерной модели, выполненной в программе SimInTech, представлен на рисунке 3.1.

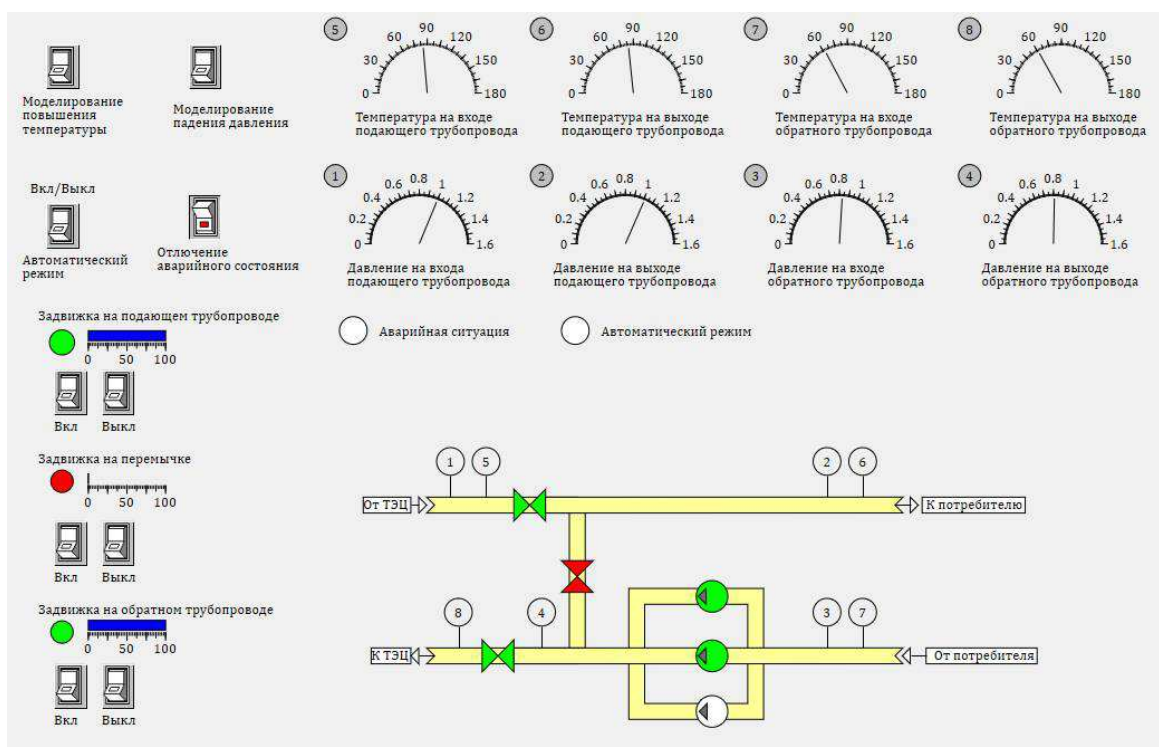


Рисунок 3.1 – Общий вид компьютерной модели

На модели располагаются: мнемосхема панели оператора (Рисунок 3.2), панель управления (Рисунок 3.4) и приборная панель контроля (Рисунок 3.5),

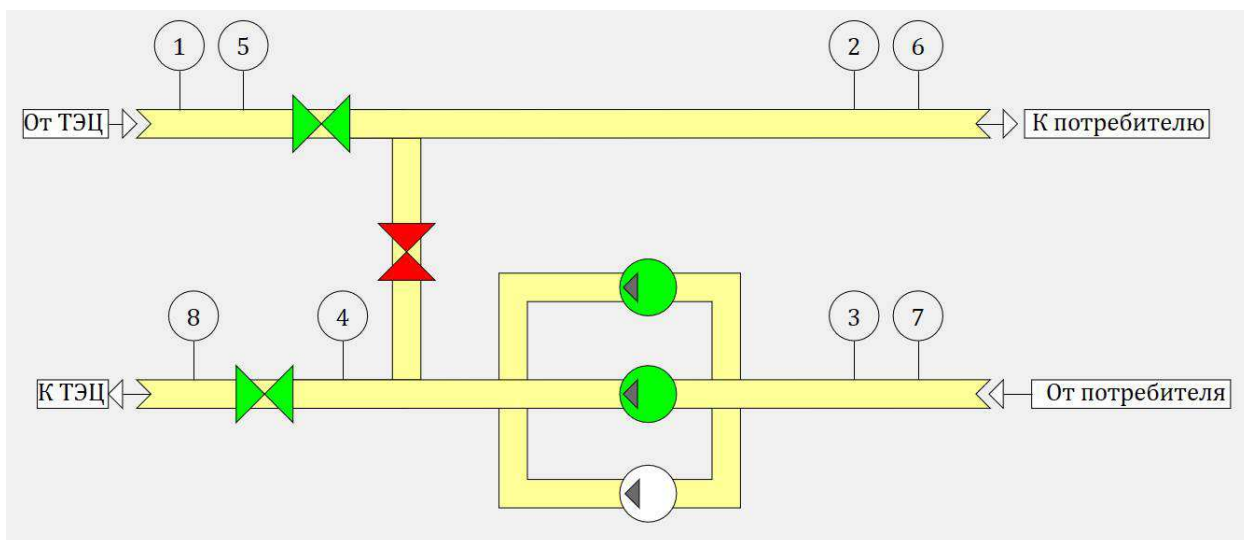


Рисунок 3.2 – Мнемосхема панели оператора

На рисунок 3.2 проиллюстрированы задвижки, трубопроводы и насосы.

Условные обозначения датчиков на панели оператора:

- 1 – датчик давления воды на входе подающего трубопровода;
- 2 – датчик давления воды на выходе подающего трубопровода;
- 3 – датчик давления воды на входе обратного трубопровода;
- 4 – датчик давления воды на выходе обратного трубопровода;
- 5 – датчик температуры воды на входе подающего трубопровода;
- 6 – датчик температуры воды на выходе подающего трубопровода;
- 7 – датчик температуры воды на входе обратного трубопровода;
- 8 – датчик температуры воды на выходе обратного трубопровода.

Для управления ПЧ насоса, используется отдельное окно (Рисунок 3.3), которое можно вызвать, дважды щелкнув по изображения насоса на панели оператора.

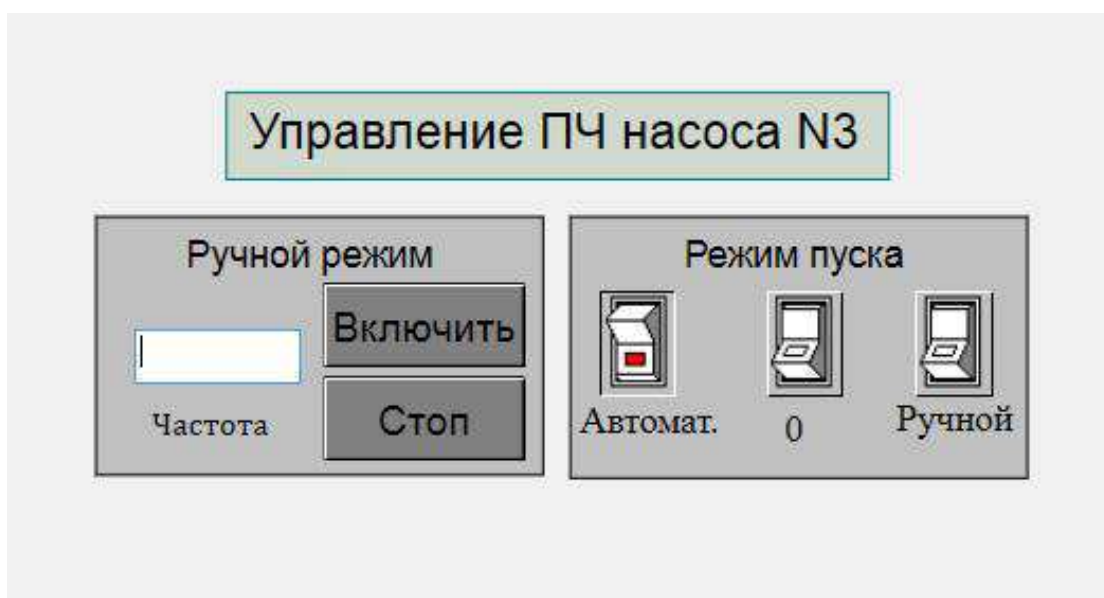


Рисунок 3.3 – Окно управления ПЧ насоса

На панели управления показанной на рисунке 3.4 кнопка Автоматический режим служит для перехода из ручного режима управления системой в автоматический и обратно. Кнопка отключения аварийного состояния предназначена для вывода системы из аварийного состояния, после её устранения в ручном режиме, и продолжения её работы в прежнем режиме. Красный цвет индикатора рядом с названием задвижки означает, что в данный момент задвижка закрыта. Индикация зеленого говорит о том, что задвижка открыта, а жёлтый цвет указывает, что задвижка находится в промежуточном состоянии. Полоса индикации задвижки демонстрирует процентное состояние задвижки. Кнопки Вкл и Выкл позволяют регулировать положение задвижек, при условии, что система находится в ручном режиме управления.

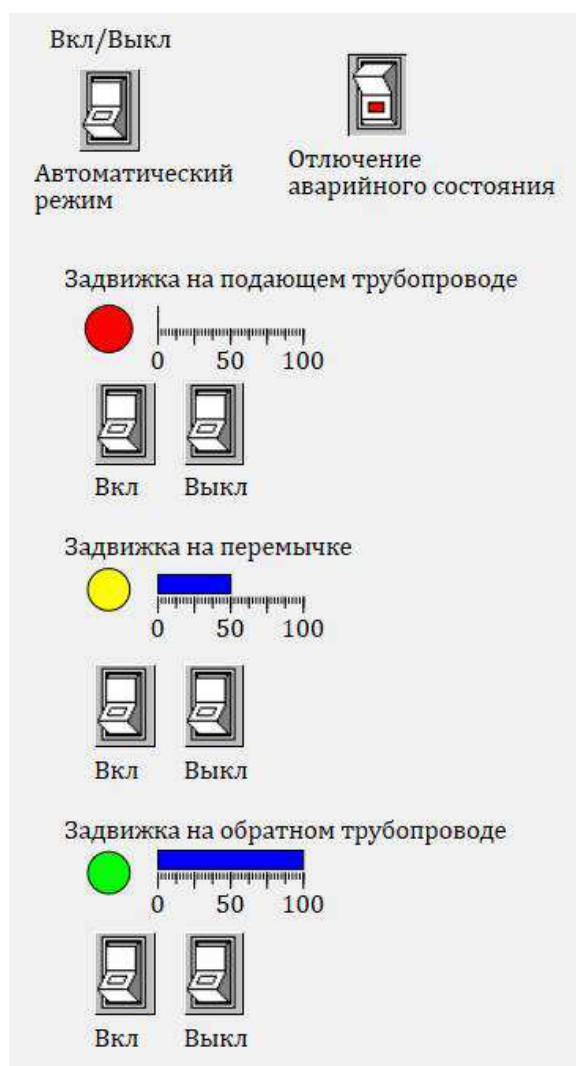


Рисунок 3.4 – Панель управления

В таблице 3.4 представлен полный список сигналов, используемых в проекте SimInTech.

Таблица 3.4 - Список сигналов

Имя в проекте	Назначение	Тип данных
Z(1-3)_xq01	Положение задвижки	Вещественное
Z(1-3)_xb01	Состояние задвижки Открыта	Двоичное
Z(1-3)_xb02	Состояние задвижки Закрыта	Двоичное
Z(1-3)_yb01	Команда открытия задвижки	Двоичное

Продолжение таблицы 3.4

Z(1-3)_yb02	Команда закрытия задвижки	Двоичное
D(1-4)_iq01	Значение параметра давления с датчика	Вещественное
T(1-4)_iq01	Значение параметра температуры с датчика	Вещественное
N(1-3)_xq01	Давление на выходе насоса	Вещественное
N(1-3)_xu01	Команда Пуск насоса	Двоичное
N(1-3)_xu02	Команда Стоп насоса	Двоичное
N(1-3)_yu01	Установленная частота ПЧ насоса	Вещественное
N(1-3)_nz	Состояние задвижки на насосе	Вещественное
Alarm_x	Флаг аварийной ситуации	Двоичное
Alarm_y	Снятие аварийной ситуации	Двоичное
Tokr_x	Температура окружающей среды	Вещественное

Приборная панель контроля (Рисунок 3.5) отображает показания контрольно-измерительных приборов, а также индикаторы «Аварийная ситуация» и «Автоматический режим управления ПНС».



Рисунок 3.5 – Приборная панель контроля

Теплогидравлическая схема (Рисунок 3.6) содержит в себе модели трубопроводов, насосов, задвижек и источников теплоносителя,

моделирующие работу насосной станции, а так же сигналы контрольно-измерительных приборов.

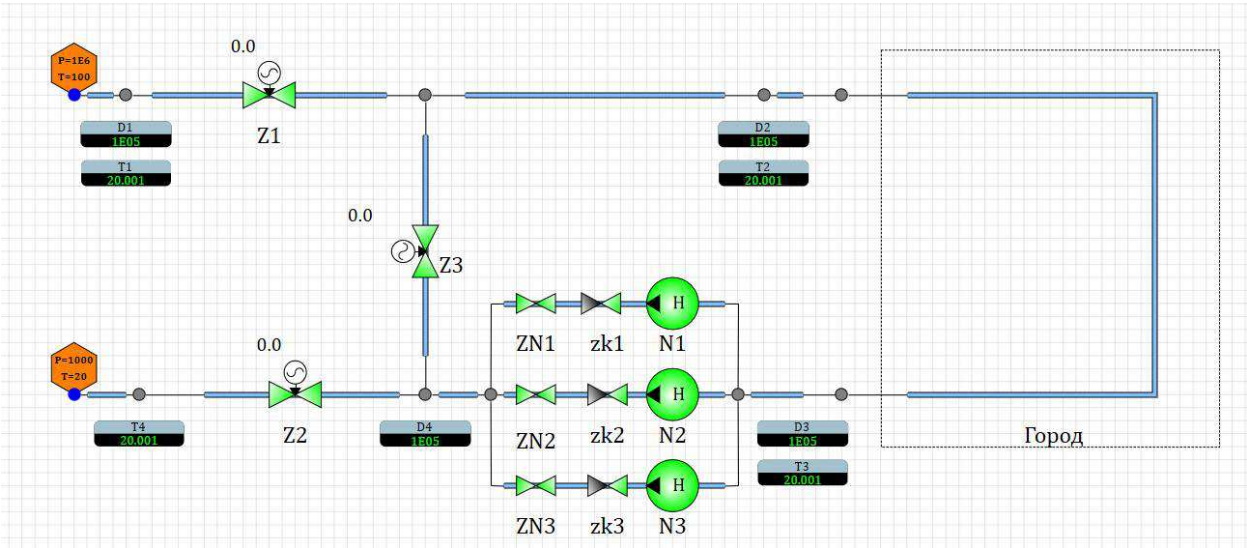


Рисунок 3.6 – Теплогидравлическая схема

Блок управления состоит из вычислительных блоков «Управление оборудованием» и «Алгоритм управления». (Рисунок 3.7)



Рисунок 3.7 – Блок управления

Субмодель «Управление оборудованием» (Рисунок 3.8) содержит в себе блоки, моделирующие работу приборов.





Рисунок 3.8 – Субмодель «Управление оборудованием»

Блок управления двигателями (БУД) служит для создания сигналов текущих значения частоты насоса. Блок управления задвижками (БУЗ) формирует сигналы состояния и положения задвижек.

В субмодели «Алгоритм управления» (Рисунок 3.9) моделируется алгоритм управления преобразователями частоты и задвижками рассмотренный в главе 3.2. Здесь заложена логика процесса увеличения частоты насоса и степени открытия задвижек, а также действия при возникновении аварийной ситуации. Код алгоритма управления ПЧ двигателей насоса представлен в Приложении В.

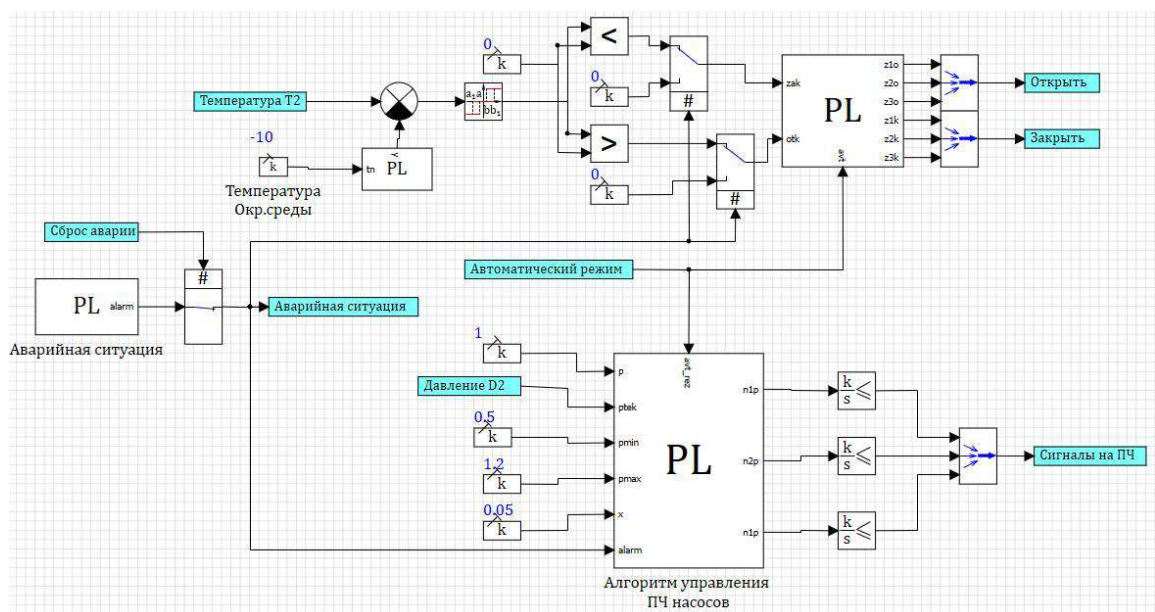


Рисунок 3.9 – Субмодель «Алгоритм управления»



Ниже представлены временные графики изменения давления и температуры воды в подающем трубопроводе (Рисунок 3.10, 3.11) с момента открытия задвижки на входе из ТЭЦ.

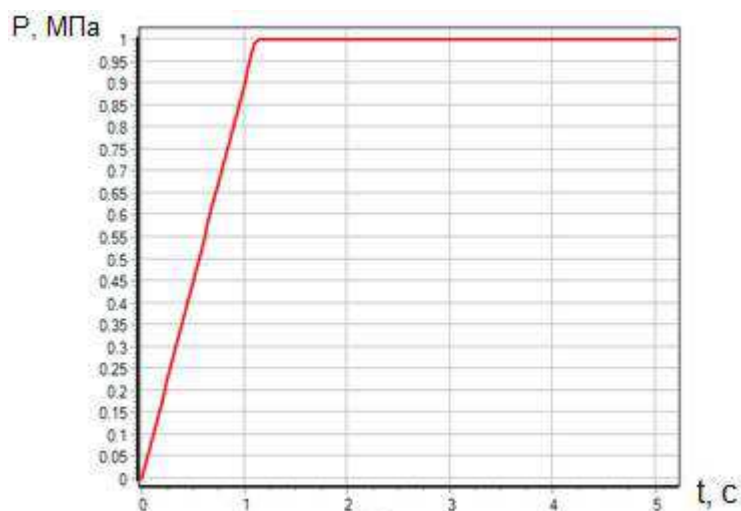


Рисунок 3.10 – Временной график давления на подающем трубопроводе,  $P_2$

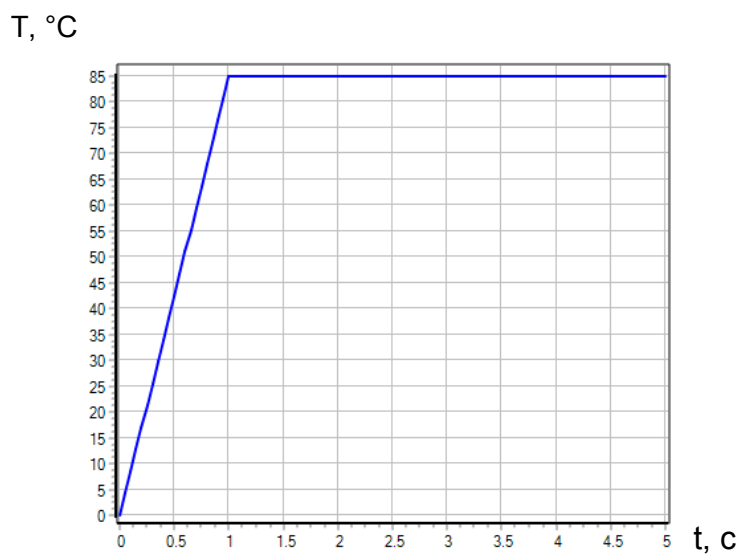


Рисунок 3.11 – Временной график температуры на подающем трубопроводе,  $T_2$

Система управления насосами позволяет поддерживать необходимое давление в системе. Временной график изменения давления воды после включения насоса представлен на рисунке 3.12.

P, МПа

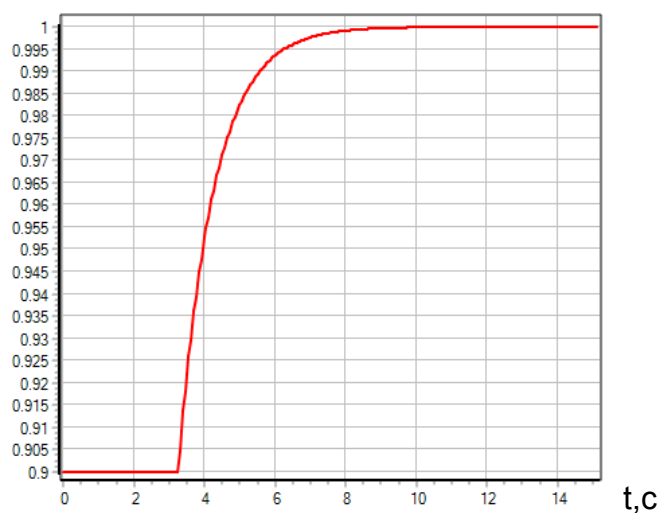


Рисунок 3.12 – Временной график давления в подающем трубопроводе,  $P_2$

Алгоритм управления позволят регулировать положение задвижек для обеспечения в подающем трубопроводе необходимой температуры. На рисунке 3.13 представлен временной график изменения температуры теплоносителя в подающем трубопроводе после открытия задвижки на перемычке.

T, °C

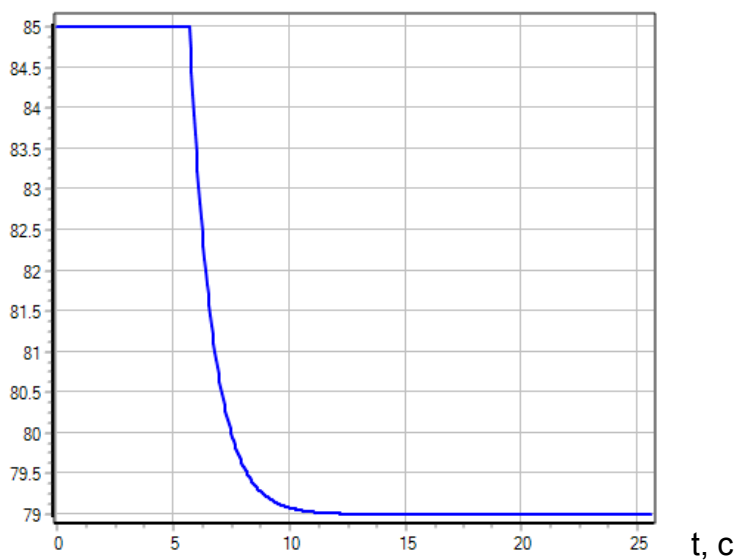


Рисунок 3.13 – Временной график температуры теплоносителя в подающем трубопроводе,  $T_2$

Для обеспечения потребителей необходимым теплом на выходе подающего трубопровода должно поддерживаться давление 1 МПа и температура 65 – 100 °С.

### 3.3.2 Моделирование ситуации изменения давления воды в подающем трубопроводе

При изменении температуры наружного воздуха в городе потребление тепла потребителями соответственно тоже меняется, что в свою очередь ведет к необходимости регулирования давления и температуры воды в системе. При поступлении такого сигнала от датчиков на входе обратного трубопровода система автоматического управления ПНС изменят положение задвижек на перемычке, подающем и обратном трубопроводе, а также подает сигнал на преобразователи частоты для достижения необходимых значений.

На рисунке 3.14 мы можем наблюдать общий вид модели после поступления в систему сигнала об изменении контролируемых параметров.

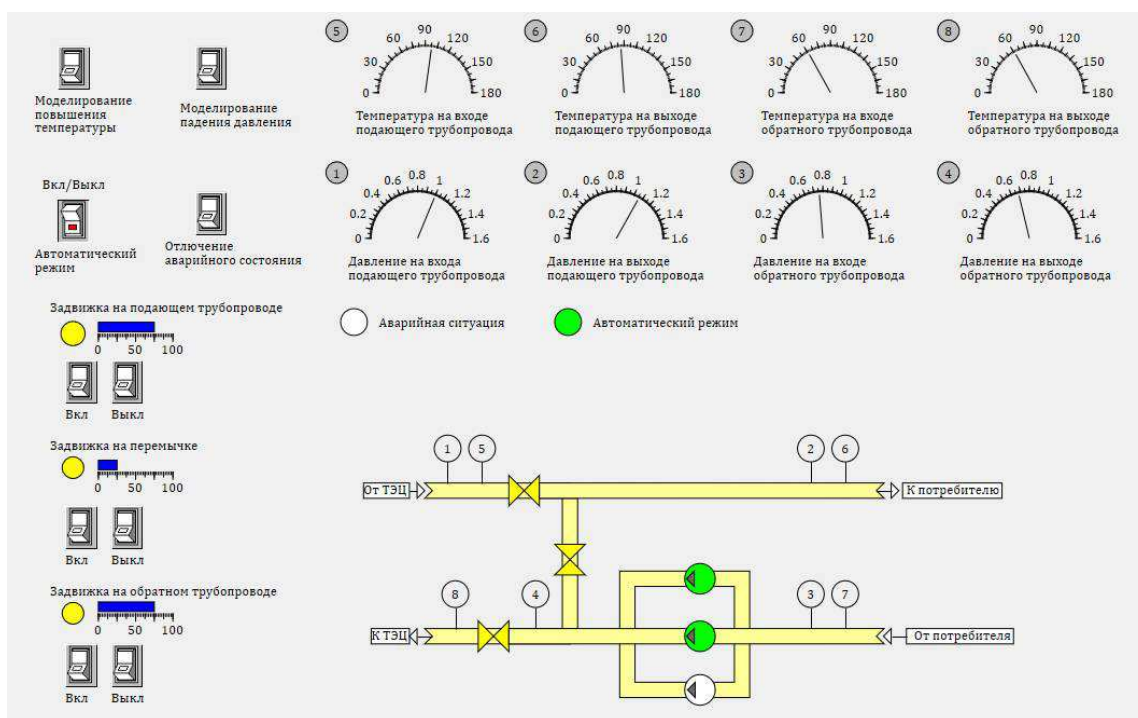


Рисунок 3.14 – Вид компьютерной модели при изменении поступающих характеристик теплоносителя

Значение давления на входе обратного трубопровода понизилось с 0.8 МПа до 0.7 МПа. Благодаря подсистеме «Алгоритм управления» давление воды в подающем трубопроводе было изменено до 1.07 МПа и был сохранен необходимый температурный режим в системе теплоснабжения.

В реальных производственных условиях в рабочем режиме параметры давления и температуры воды указаны в таблице 3.5.

Таблица 3.5 – Технологические параметры ПНС в разных режимах работы

Параметры	Рабочий режим	Аварийный режим
Температура на входе подающего трубопровода, °С	65 - 100	менее 65 или более 100
Температура на выходе подающего трубопровода, °С	65 - 100	менее 65 или более 100
Температура на входе обратного трубопровода, °С	65 - 100	менее 40 или более 100
Давление на входе подающего трубопровода, МПа	1	менее 0.5 или более 1.2
Давление на выходе подающего трубопровода, МПа	1	менее 0.5 или более 1.2
Давление на входе обратного трубопровода, МПа	0.8	менее 0.4 или более 1.2

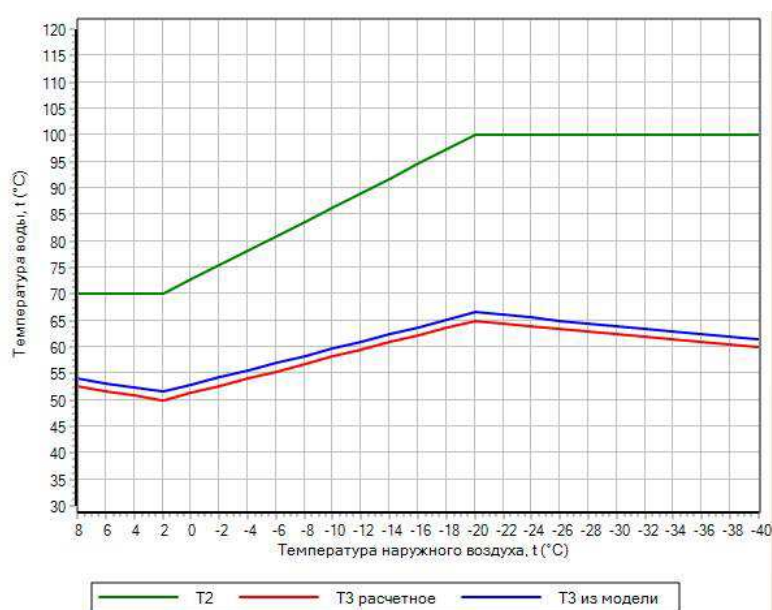
На основании построенной модели проведем верификацию численных значений расчетных параметров, находящихся в допустимых пределах, обеспечивающих работоспособность ПНС. Результаты численного эксперимента по определению влияния изменения давления в подающем трубопроводе на давление в обратном трубопроводе при температуре на выходе подающего трубопровода 85 °С показаны в таблице 3.6.

Таблица 3.6 – Численные эксперименты при рабочем режиме

Давление на выходе подающего трубопровода $P_2$ , МПа	Давление на входе обратного трубопровода $P_3$ , МПа
1.2	1.02
1	0.82
0.95	0.77
0.85	0.67
0.7	0.52
0.6	0.42

Расчетные значения соответствуют установленной зависимости между давлением на выходе подающего и входе обратного трубопроводов.

Результаты численного эксперимента по определения влияния изменения температуры наружного воздуха и на выходе подающего трубопровода на температуру в обратном трубопроводе представлены в виде графика, показанного на рисунке таблице 3.15.



$T_2, T_3$  – температура сетевой в подающем и обратном трубопроводах, °C.

Рисунок 3.15 – График зависимости температуры воды от температуры наружного воздуха

Расчетные значения вычисленные по формуле (3.4) соответствуют значениям полученным из модели, в пределах допустимой погрешности.

Таблица 3.5 – Численные эксперименты при рабочем режиме

Температура на выходе подающего трубопровода $T_2$ , °C	Температура на входе обратного трубопровода $T_3$ , °C	Температура наружного воздуха $T_{нар}$ , °C
75	50,54	0
85	60,57	0
95	70,6	0
75	48,7	-10
85	58,6	-10
95	68,7	-10
75	40,2	-20
85	50,1	-20
95	60,15	-20

Численные эксперименты соответствуют установленным зависимостям перепадов температуры и давления на выходе подающего и входе обратного трубопроводов, полученным при теплогидравлическом расчете, что подтверждает точность работы модели.

### 3.3.3 Моделирование аварийной ситуации

При моделировании аварийной ситуации рассмотрим падение температуры в подающем трубопроводе до критически малого. На рисунке 3.16 представлен общий вид модели при аварийном режиме.

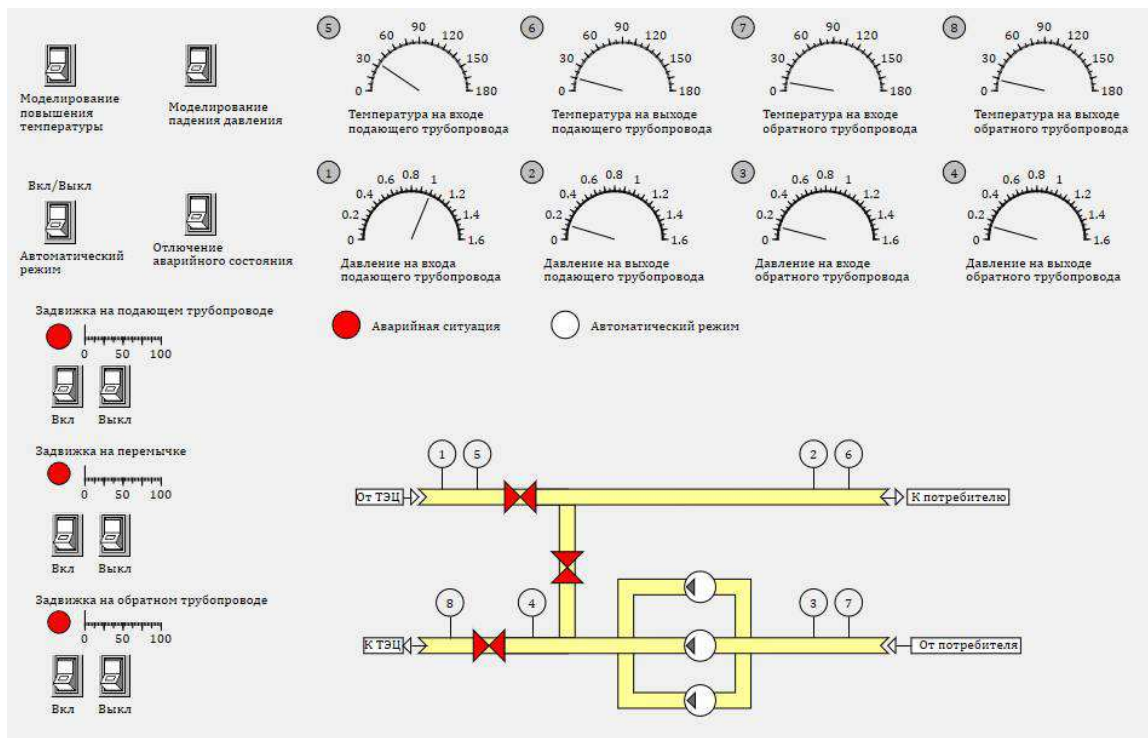


Рисунок 3.16 – Общий вид модели при аварийной ситуации

В момент падения температуры ниже допустимого значения в  $65\text{ }^{\circ}\text{C}$ , система переходит в аварийный режим работы. (Рисунок 3.17).

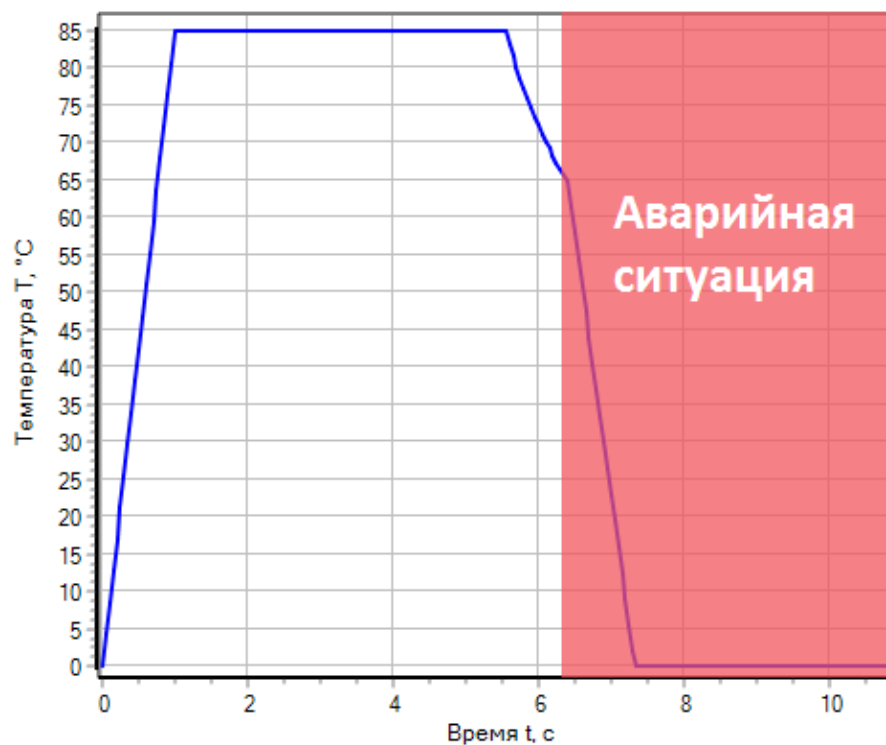


Рисунок 3.17 – Временной график изменения температуры

Последовательность действий при падении температуры в подающем трубопроводе:

- 1) загорается индикатор аварийной ситуации;
- 2) закрываются задвижки на трубопроводах;
- 3) работа насосов останавливается.
- 4) система переходит в ручной режим управления, до тех пор пока аварийная ситуация не будет ликвидирована.

### **Выводы по главе 3**

Построенные алгоритмы работы автоматизированного управления ПНС позволили создать компьютерную модель с помощью которой проведено моделирование системы управления насосной станции в автоматическом режиме и элементы системы предотвращающие аварию при выходе за граничные условия температуры и давления воды.

При возникновении аварийной ситуации система сигнализирует и производит автоматическую остановку насосов и закрытие задвижек, что является актуальным, поскольку реакция оперативного персонала может быть недостаточно быстрой для предотвращения аварии.

Теплогидравлические расчетные параметры перепадов давления и температуры воды на выходе подающего трубопровода и входе обратного трубопровода совпадают со значениями полученными из модели с погрешностью не превышающей 5%, что говорит о точности построенной компьютерной динамической модели.



## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В бакалаврской работе был выполнен обзор существующих видов насосных станций и проанализированы отличия их функционального назначения. Подробно рассмотрены технологические принципы работы подкачивающей насосной станции. Для исследования автоматизированного управления подкачивающей насосной станции проанализированы выбранные, при модернизации ПНС, технологические средства автоматизации и создана компьютерная динамическая модель процесса управления подкачивающей насосной станции в программе SimInTech. Компьютерная модель схемы теплоснабжения представляет собой графический и аналитический инструмент, позволяющий пользователю оперативное выполнение поставленных задач. Проведено моделирование работы системы в автоматическом режиме в рабочих диапазонах технологических параметров давления от 0.5 МПа до 1.2 МПа и температуры в пределах от 65 до 100 С, и смоделирована аварийная ситуация. Аварийные ситуации возникают по причинам изменения температуры или давления подаваемых на ПНС из Сосновоборской ТЭЦ и нарушения целостности теплосети, в следствие чего происходит потеря теплоносителя в трубопроводе.

Построенная модель позволяет изучать поведение системы в целом, давать рекомендации о допустимых диапазонах технологических параметров и режимах работы. Численные эксперименты в компьютерной модели подтверждают, что значения технологических параметров находятся в допустимых диапазонах.

Автоматизация позволяет контролировать и регулировать основные параметры процесса, тем самым обеспечивая безопасность работ и предотвращение ошибок оперативного персонала. Разработанная в SimInTech модель может быть рекомендована для обучения практикантов и работы персонала насосных станций.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Клюев, А.С. Автоматическое регулирование / А.С. Клюев. – Москва : Высшая школа, 2008. – 351с.
- 2 Фарзани, Н.Г. Технологические измерения и приборы / Н.Г. Франзе. - Москва: Высшая школа, 2010. – 456 с.
- 3 Попович, Н.Г. Автоматизация производственных процессов и установок / Н.Г. Попович, А.В. Ковальчук, Е.П. Красовский. – Киев : Вицашк. Головное изд-во, 1986. – 311с.
- 4 Хапов, П.В. Технологическое оборудование автоматизированных производств: лабораторный практикум / П.В. Хапов, В.Д. Щепин. – Йошкар-Ола : Поволжский государственный технологический университет, 2012. – 125 с.
- 5 Схема теплоснабжения города Сосновоборска на период с 2013 года до 2028 года [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://sosnovoborsk-city.ru/city/gorodskoe-khozyaistvo>
- 6 СТО 4.2-07-2014 Общие требования к построению, изложению и оформлению документов учебной деятельности. – Взамен СТО 4.2-07-2012; Дата введения 9.01.2014. – Красноярск: ИПК СФУ, 2014. – 60 с.
- 7 ГОСТ 2.701-84. Схемы. Виды и типы. Общие требования к выполнению. – Москва: – 21 с.
- 8 Шевелев, Ф.А. Таблицы для гидравлического расчета водопроводных труб/ Ф.А. Шевелев, А.Ф. Шевелев. - Москва: Стройиздат, 1984. - 116 с.
- 9 Абрамов, Н.Н. Водоснабжение / Н.Н. Абрамов. – Москва: Стройиздат, 1974. - 480 с.
- 10 Журба, М.Г. Водоснабжение. Проектирование систем и сооружений: В 3-х т. - Т 1. Системы распределения и подачи воды / Научно-методическое руководство и общая редакция докт. техн. наук, проф. М.Г. Журбы. – Вологда; Москва: ВоГТУ, 2001. – 188 с.

- 11 Карташов, Б.А. Среда динамического моделирования технических систем SimInTech / Б.А. Карташов, О.С. Козлов, Е.А. Шабает, А.Д. Щекатуров, Д.А. Мовчан. – Москва: ДМК-Пресс, 2017. – 424 с.
- 12 Справочная система SimInTech [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://simintech.ru/webhelp/#o\\_simintech/o\\_simintech.html](http://simintech.ru/webhelp/#o_simintech/o_simintech.html)
- 13 Дегтяренко, А.В. Теплоснабжение: учебное пособие / А.В. Дегтяренко. – Томск : ТГАСУ, 2010. – 185 с.
- 14 Копко, В.М. Теплоснабжение: курс лекций для студентов / В.М. Копко. – Москва: АСВ, 2012. – 336 с.
- 15 Техническое описание на датчик давления ОВЕН ПД100-ДИ1-311-1 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://www.owen.ru/product/preobrazovateli\\_dlya\\_zhkh\\_pd100](https://www.owen.ru/product/preobrazovateli_dlya_zhkh_pd100)
- 16 Техническое описание на датчик температуры ОВЕН ДТС035-РТ100.В3.200 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://www.owen.ru/product/dtshh5\\_termosoprotivleniya\\_s\\_kommutatsionnoj\\_golovkoj/construction](https://www.owen.ru/product/dtshh5_termosoprotivleniya_s_kommutatsionnoj_golovkoj/construction)
- 17 Техническое описание на реле давления Danfoss KPI35 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.kpi35.ru/#features>
- 18 Техническое описание на преобразователь частоты Danfoss VLT FC202P315 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.danfoss.com/en/products/ac-drives/dds/vlt-aqua-drive-fc-202/#tab-overview>
- 19 Техническое описание на преобразователь частоты Danfoss VLT Micro Drive [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.mege.ru/upload/DANFOSS/docs/Краткое%20руководство%20VLT%20Micro%20Drive.pdf>
- 20 Техническое описание на задвижку с электроприводом ПЭМ Б5У [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docplayer.ru/39289454-Privody-elektricheskie-mnogooborotnye-pem-rukovodstvo-po-ekspluatacii-yalbi-re.html>

- 21 Техническое описание на панель оператора ОВЕН СП310-Б [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.owen.ru/product/sp3xx>
- 22 Техническое описание на Программируемый логический контроллер 160-24.А-М ОВЕН [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.owen.ru/product/plk160>
- 23 Техническое описание на модуль ввода аналоговый МВ110-224.8А [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://www.owen.ru/product/moduli\\_analogovogo\\_vvoda\\_s\\_universal\\_nimi\\_vhodami\\_s\\_interfejsom\\_rs\\_485](https://www.owen.ru/product/moduli_analogovogo_vvoda_s_universal_nimi_vhodami_s_interfejsom_rs_485)
- 24 СП 30.13330.2016 Внутренний водопровод и канализация зданий. Актуализированная редакция СНиП 2.04.01-85 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/456054201#>
- 25 СП 124.13330.2012 Тепловые сети. Актуализированная редакция СНиП 41-02-2003 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200095545>
- 26 СНиП II-34-76 Горячее водоснабжение [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200067480>
- 27 Гончар, В.В. Теплоснабжение города: учебное пособие / В.В. Гончар, Д.М. Чудинов. – Воронеж: Воронежский ГАСУ, 2015. – 58 с.
- 28 Штокман, Е.А. Теплогазоснабжение и вентиляция: учебное пособие / Е.А. Штокман, Ю.Н. Карагодин. – Москва: АСВ, 2013. – 201 с.
- 29 Яковлев, Б.В. Теплоснабжение и вентиляция. Курсовое и дипломное проектирование / Б.В. Яковлев, Б.М. Хрусталева. – Москва: АСВ, 2010. – 784 с.
- 30 Хабаров, С.П. Построение распределенных моделей в системе SimInTech: методические указания / С.П. Хабаров, М.Л. Шилкина. – Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2018. – 122 с.

## ПРИЛОЖЕНИЕ А

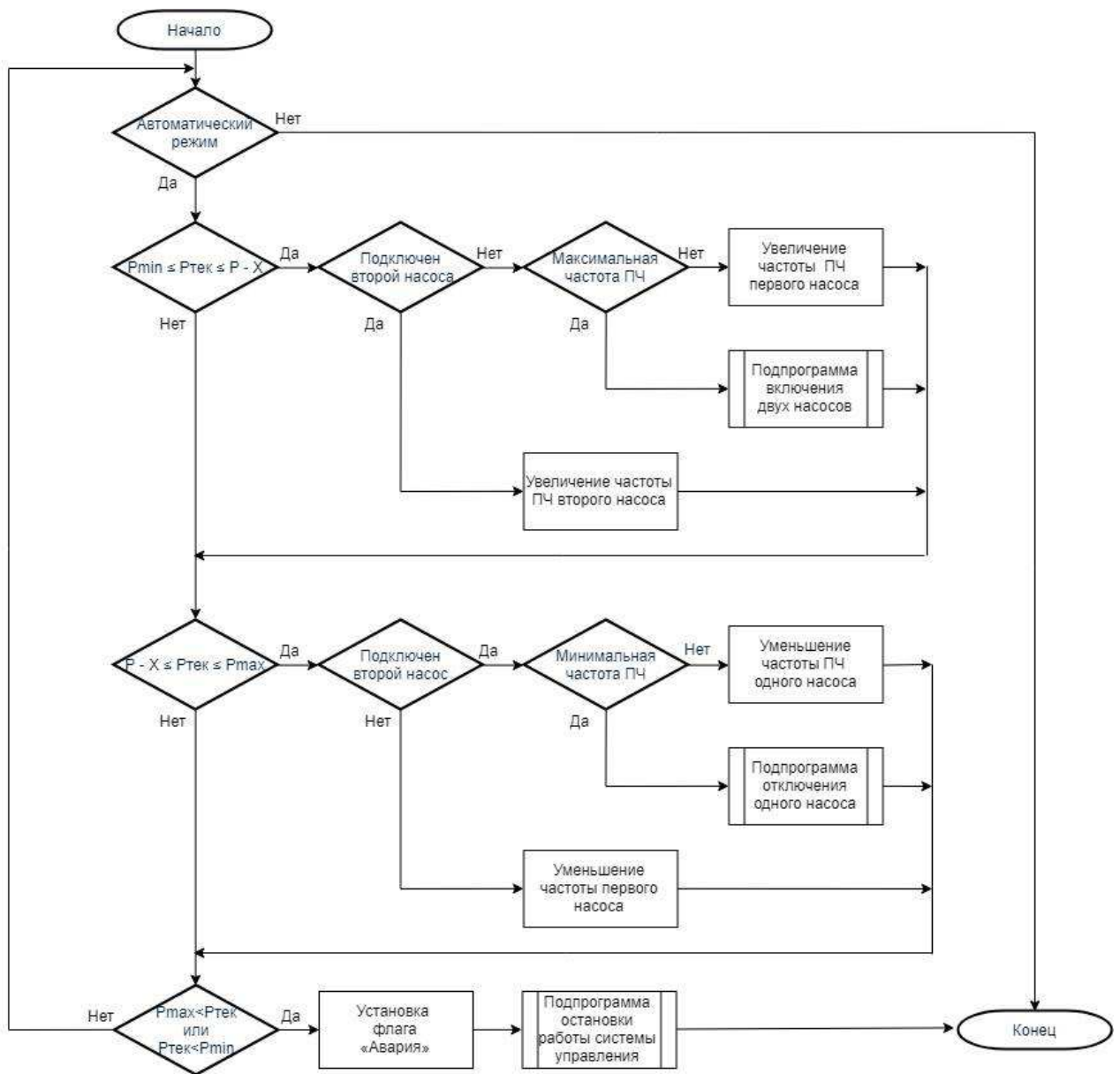


Рисунок А.1 – Алгоритм работы автоматизированного управления насосами  
ПНС

## ПРИЛОЖЕНИЕ Б

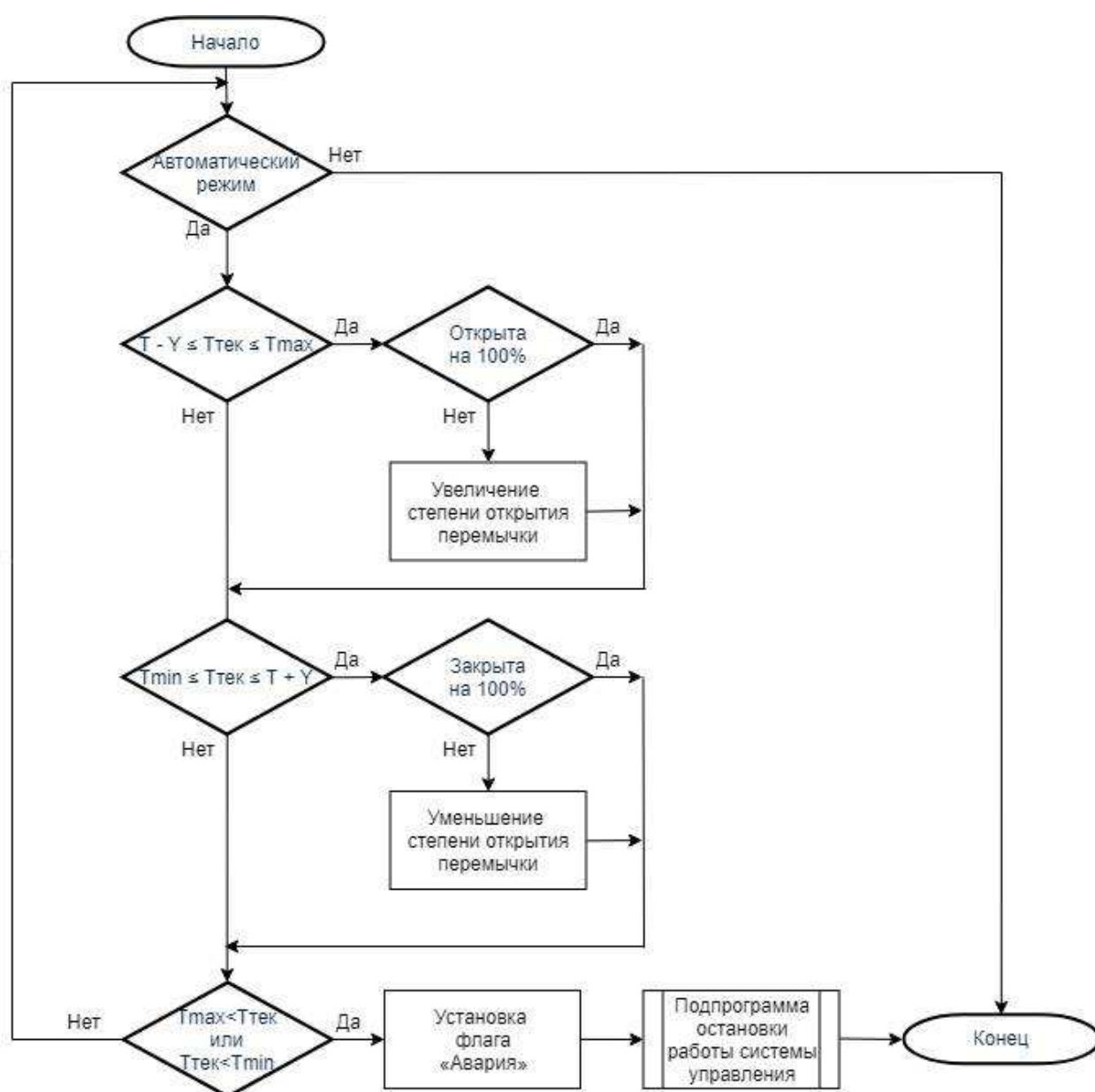


Рисунок Б.1 – Алгоритм работы автоматизированного управления  
задвижками ПНС

## ПРИЛОЖЕНИЕ В

### Листинг алгоритма управления ПЧ насосов

input P, Ptek, Pmin, Pmax, X, Alarm, Avt\_Rez;

output N1p, N2p, N3p;

if (Avt\_Rez = 1) then begin

PX=p+x;

XP=p-x;

N1p = 0;

N2p = 0;

N3p = 0;

if (Alarm = 0) then begin

if (N1\_xu01 = 1) and (N2\_xu01 = 1) and (N3\_xu02 = 0) then  
begin

if (Ptek <= XP) and (Ptek >= PX) then N1p = 0; N2p = 0;

if (Ptek < XP) and (Ptek > Pmin) then N1p = 1;

if (N1\_xp01 > 99.999) and (Ptek < XP) then N2p = 1;

if (Ptek > PX) and (Ptek < Pmax) then N1p = -1;

if (N1\_xp01 > 0.001) and (Ptek > XP) then N2p = -1;

end;

if (N1\_xu01 = 1) and (N2\_xu02 = 0) and (N3\_xu01 = 1) then  
begin

if (Ptek <= XP) and (Ptek >= PX) then N1p = 0; N2p = 0;

if (Ptek < XP) and (Ptek > Pmin) then N1p = 1;

if (N1\_xp01 > 99.999) and (Ptek < XP) then N3p = 1;

if (Ptek > PX) and (Ptek < Pmax) then N1p = -1;

if (N1\_xp01 > 0.001) and (Ptek > XP) then N3p = -1;

end;

```

    if (N1_xu02 = 0) and (N2_xu01 = 1) and (N3_xu01 = 1) then
    begin
        if (Ptek <= XP) and (Ptek >= PX) then N2p = 0; N2p = 0;
        if (Ptek < XP) and (Ptek > Pmin) then N2p = 1;
        if (N2_xp01 > 99.999) and (Ptek < XP) then N3p = 1;
        if (Ptek > PX) and (Ptek < Pmax) then N2p = -1;
        if (N2_xp01 > 0.001) and (Ptek > XP) then N3p = -1;
    end;
end;

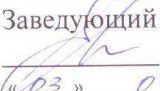
if (Alarm = 1) then begin
    N1p = 0;
    N2p = 0;
    N3p = 0;
    if (N1_xu01 = 1) then N1_xu03 = 1; N1_xu01 = 0;
    if (N2_xu01 = 1) then N2_xu03 = 1; N2_xu01 = 0;
    if (N3_xu01 = 1) then N3_xu03 = 1; N3_xu01 = 0;
end;
end;

```



Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»



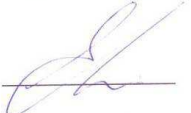

Институт космических и информационных технологий  
Кафедра систем автоматики, автоматизированного  
управления и проектирования

УТВЕРЖДАЮ  
Заведующий кафедрой  
 С.В. Ченцов  
«03» 07 2019 г.

### БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

15.03.04 Автоматизация технологических процессов и производств

### АВТОМАТИЗАЦИЯ НАСОСНОЙ СТАНЦИИ

Руководитель		02.07.2019г.	ст. преподаватель И.В. Солопко
Выпускник		02.07.2019г.	С.И. Савченко
Консультант		02.07.2019г.	профессор, д-р техн. наук С.В. Ченцов
Нормоконтролер		02.07.2019г.	Т.А. Грудинова

Красноярск 2019